www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

17e JAARGANG No. 12, blz. 361-400 DECEMBER 1955

# Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

## SPECTROCHEMISCHE ANALYSE MET RÖNTGENSTRALEN

door W. PARRISH *).

545.824:621.387.4

*Reeds sedert de dagen van Bunsen en Kirchhoff kent men de methodes van kwalitatieve en kwantitatieve spectrochemische analyse, die gebruik maken van de emissiespectra van elementen in het zichtbare golflengtegebied. In het laatste decennium is een hiermee verwante analysemethode tot ontwikkeling gekomen, die gebruik maakt van de, meestal door fluorescentie opgewekte, emissiespectra in het röntgengebied. Deze methode, die zich natuurlijk van geheel andere technieken bedient, is reeds in een grote verscheidenheid van gevallen zeer nuttig gebleken.*

Elk chemisch element zendt bij het verhitten of verbranden licht uit met een karakteristiek spectrum, waarvan reeds sinds bijna een eeuw practisch gebruik wordt gemaakt voor het identificeren van elementen. Dit is nog steeds een van de gevoeligste methodes voor het aantonen van sporen van verontreinigingen. Bovendien heeft men werkwijzen ontwikkeld waardoor de methode ook gemakkelijk en met goede nauwkeurigheid voor kwantitatieve chemische analyse kan worden toegepast; deze methode kan de klassieke chemische analyse langs natte weg in vele gevallen aanvullen of vervangen [1]).

De optische spectra van de meeste elementen zijn zeer gecompliceerd: zij bevatten gewoonlijk honderden of zelfs duizenden lijnen (*fig. 1a*). Hoewel de bruikbaarheid van de spectrochemische analyse hierdoor niet principieel wordt beperkt, zal de toepassing er toch in vele gevallen door worden geremd, aangezien de identificatie van bestanddelen in een mengsel moeilijk wordt. Op andere beperkingen van de methode komen wij aan het eind van dit artikel nog te spreken.

In het laatste decennium is een andere methode van spectrochemische analyse op de voorgrond getreden, waarbij men niet de optische doch de röntgenspectra gebruikt, die de elementen uitzenden. Deze methode heeft soortgelijke eigenschappen als de optische en daarnaast nog speciale merites. Zij is bijv. niet-destructief, wat in sommige gevallen een belangrijk voordeel kan zijn. Een algemeen en

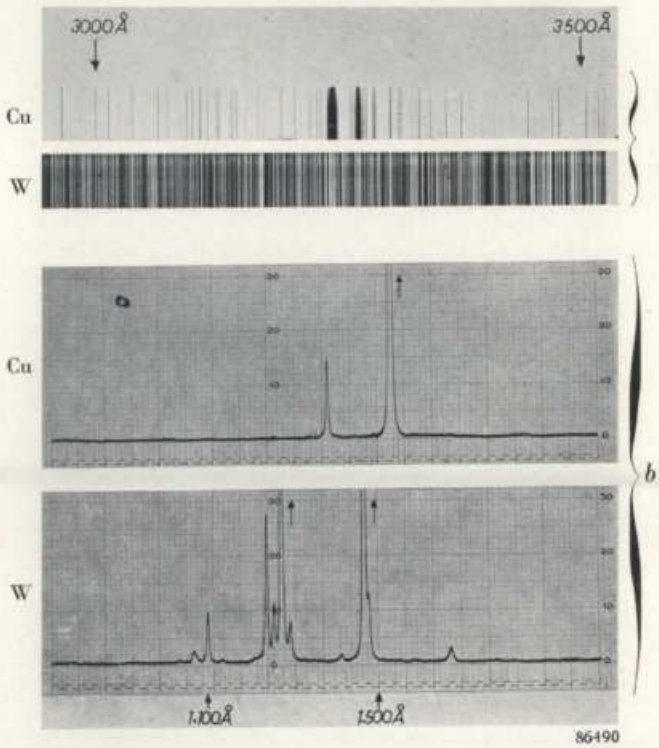



Fig. 1. *a*) Optische spectra van koper en wolfraam in het gebied van 3000 tot 3500 Å. *b*) Röntgenspectra van dezelfde elementen.

*) Philips Laboratories, Irvington-on-Hudson, N.Y., U.S.A.

[1]) Zie bijv. Norman H. Nachtrieb, Principles and practice of spectrochemical analysis, McGraw-Hill, New York 1954; N. W. H. Addink en W. de Groot, Spectrochemische analyse, Philips techn. T. **12**, 341-352, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



essentieel voordeel ten opzichte van de optische methode echter is de grote eenvoud der röntgenspectra (fig. 1*b*). Men zou misschien kunnen menen dat zulk een voordeel — dat van practische aard is — geheel te niet zal worden gedaan door de grotere ingewikkeldheid der hulpmiddelen die men nodig heeft voor het werken met röntgenstralen in plaats van licht. Deze mening is echter onjuist: er staan nu toestellen ter beschikking waardoor de spectrochemische analyse met röntgenstralen voor routinetoepassingen ongeveer even eenvoudig wordt als die in het zichtbare gebied. Dit is daaraan te danken dat de röntgentechnieken die men voor een andere onderzoekmethode heeft ontwikkeld, nl. de röntgendiffractie, gedurende het afgelopen decennium een hoge graad van volmaaktheid en automatisering hebben bereikt en daardoor in vele laboratoria vaste voet hebben verkregen. In de hier bedoelde technieken is de vroeger gebruikelijke fotografische registratie van straling vervangen door een meting met telbuizen. Wij zullen hieronder laten zien dat dit voor de ontwikkeling van de spectrochemische analyse met röntgenstralen van groot belang is geweest.

**Grondslagen van de methode**

Het ontstaan van de karakteristieke röntgenspectra kan in het kort als volgt worden beschreven [2]). Volgens het model van Bohr zijn de electronenbanen van elk atoom gerangschikt in schillen, die als K-, L-, M-schil enz. worden aangeduid. Wordt voldoende energie aan het atoom toegevoerd, dan kan een electron uit een van de binnenste schillen worden geworpen. De plaats van dit electron zal dan onmiddellijk worden ingenomen door een electron uit een der buitenste schillen, welks plaats op zijn beurt zal worden ingenomen door een nog verder buiten gelegen electron, enz. Het atoom keert aldus in een aantal stappen tot zijn normale toestand terug, en bij elke stap wordt een foton uitgezonden. De energieverschillen tussen de electronenbanen in de opeenvolgende schillen zijn zodanig dat deze fotonen golflengten in het röntgengebied hebben, nl. van enkele tienden ångström tot enige tientallen ångström.

De karakteristieke emissiespectra die op deze wijze van verschillende elementen worden verkregen, bestaan uit betrekkelijk weinig spectraallijnen, dank zij het geringe aantal electronenbanen dat bij het ontstaan der spectra betrokken is. Bovendien zijn deze spectra alle geheel analoog gebouwd en vertonen ze een eenvoudig verloop van de golflengten met het atoomnummer van het element. Een en ander werd het eerst aangetoond in de jaren 1913 en 1914 door experimenten van de Engelse natuurkundige Moseley. In *fig. 2* is een reeks door Moseley opgenomen röntgenspectra weergegeven. Het

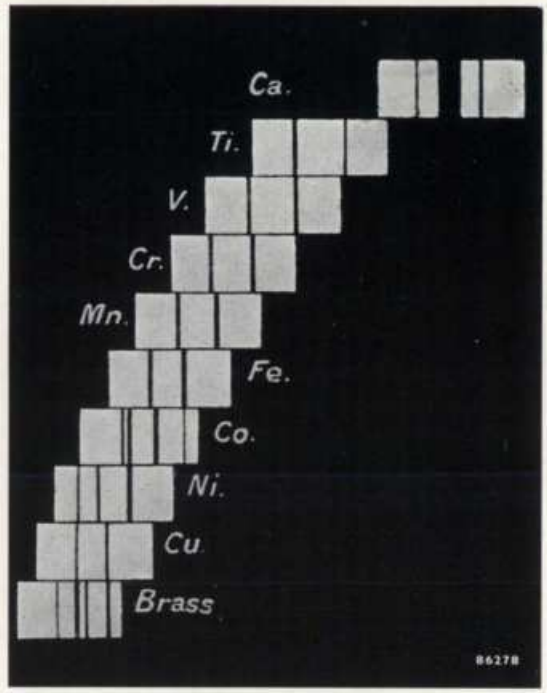



Fig. 2. Röntgenspectra van verschillende elementen, opgenomen door Moseley. (Ontleend aan Phil. Mag. **26**, 1024-1034, 1913.)

zeer regelmatige verloop van de golflengte van elke spectraallijn als functie van het atoomnummer ziet men in *fig. 3*. Deze krommen vormen de grondslag voor de spectrochemische kwalitatieve analyse met röntgenstralen. Door een vergelijking van de intensiteit der spectra van verschillende elementen in een mengsel of in een verbinding komt men tot een kwantitatieve bepaling van hun concentraties.

Bij de practische toepassing van de spectrochemische analyse met röntgenstralen heeft men te maken met twee hoofdproblemen, die wij hier in het kort willen bespreken alvorens tot de details van de tegenwoordige techniek over te gaan; deze problemen betreffen de opwekking van de röntgenspectra en hun analyse.

De energie die nodig is voor het uitwerpen van een electron uit een der binnenste schillen, kan aan een atoom worden toegevoerd, hetzij door botsing met een vrij electron van grote energie, hetzij door absorptie van een energierijk foton (röntgenquantum). Er bestaan dan ook twee manieren om het karakteristieke röntgenspectrum van elk element

[2]) Voor een vollediger behandeling en een algemeen overzicht van de fysica der röntgenspectra, zie bijv.: A. H. Compton en S. K. Allison, X-rays in theory and experiment, Van Nostrand, New York 1935.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



op te wekken: men kan het preparaat bombarderen met electronen die door een hoge spanning zijn versneld, of men kan het bestralen met een röntgenstralenbundel. Thans wordt algemeen de tweede methode toegepast. Wegens de analogie met het optische geval spreekt men hierbij van fluorescentie, en dit heeft ertoe geleid dat de gehele methode van spectrochemische analyse met röntgenstralen thans gewoonlijk als röntgenfluorescentieanalyse wordt aangeduid.

De eerstgenoemde methode om karakteristieke spectra op te wekken — door electronenbombardement — is degene die men gebruikt in röntgenbuizen voor het opwekken van de monochromatische röntgenstralen voor diffractieonderzoek (bijv. de K-straling van koper). Wil men deze methode voor spectrochemische analyse toepassen, dan moet elke te onderzoeken stof eerst in de vorm van een trefplaat gebracht worden, die men dan als anode in een demonteerbare röntgenbuis moet aanbrengen. Op deze wijze hebben Siegbahn en anderen lange tijd gewerkt bij het onderzoek van de karakteristieke spectra. Met behulp van deze methode hebben Von Hevesy en Coster in 1923 het element hafnium ontdekt [3]), en deze methode werd wederom

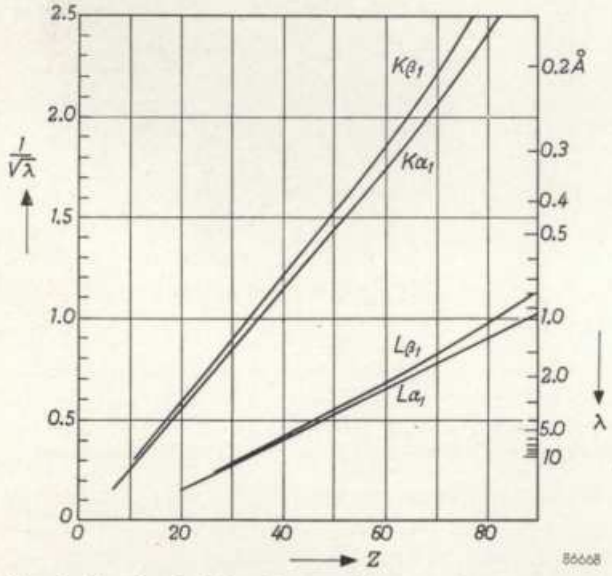



Fig. 3. Karakteristieke röntgengolflengten $\lambda$ voor overeenkomstige spectraallijnen van een reeks elementen, uitgezet tegen het atoomnummer $Z$. Volgens de wet van Moseley moet er een lineair verband tussen $\sqrt{1/\lambda}$ en $Z$ bestaan.

toegepast toen dit element in het Philipslaboratorium te Eindhoven voor het eerst in zuivere toestand werd bereid. Het behoeft echter wel geen betoog dat de moeilijke techniek van de demonteerbare röntgenbuis de toepassing van de methode op grote schaal voor routineanalysen zo goed als onmogelijk maakte. Bovendien loopt men de kans op ernstige kwantitatieve fouten door het feit dat het preparaat, dat aan het electronenbombardement wordt blootgesteld, op zodanige wijze kan verdampen of smelten dat de chemische samenstelling aan het oppervlak verandert. Om deze reden hebben Von Hevesy en anderen vóór 1930 reeds de opwekking door fluorescentie toegepast, maar om een voldoende intensiteit te krijgen, moesten zij het preparaat zeer dicht bij de primaire röntgentrefplaat, binnen de buis, plaatsen; de moeilijkheden van de vacuumtechniek enz. bleven dus bestaan [3]).

Een door electronen gebombardeerde trefplaat zendt behalve het karakteristieke lijnenspectrum ook een continu röntgenspectrum uit, dat bijna geen structuur heeft. (Dit continue spectrum, dat aan het afremmen van de opvallende electronen te danken is, wordt bij medische en andere toepassingen der röntgenstralen gebruikt, waar het polychromatische karakter van de straling geen bezwaar vormt of zelfs gewenst is.) Er dient op gewezen te worden dat een preparaat dat men door fluorescentie aanslaat, geen continu spectrum uitzendt. De primaire röntgenstralenbundel echter die voor het opwekken van fluorescentie dient, zal altijd het continuum bevatten, en dit is in de meeste gevallen ook nodig. Deze en andere details van de in de praktijk gebruikte methodes van fluorescentieopwekking komen in het volgende hoofdstuk ter sprake.

Een spectrochemische analyse door middel van röntgenspectra die door electronenbombardement worden opgewekt, doet zich nog wel in een speciaal geval voor, nl. als men röntgenbuizen voor diffractiedoeleinden op spectrale zuiverheid onderzoekt. Verontreinigingen in de trefplaat dragen röntgenstralen van ongewenste golflengten bij. Het spectroscopische onderzoek van deze straling geeft de nodige inlichtingen omtrent de aard van de verontreinigingen. Tegelijkertijd kan men hierbij ongewenste röntgenstraling identificeren die door allerlei delen van de röntgenbuis, buiten de trefplaat, door fluorescentie wordt uitgezonden. Deze toepassing van de spectrochemische analyse ziet men verderop in fig. 7*b* geïllustreerd.

De analyse en de meting van röntgenspectra geschiedt gewoonlijk door middel van diffractie. Mechanisch vervaardigde buigingstralies, zoals men die doorgaans voor optische spectrografie gebruikt, kunnen slechts uiterst moeilijk met de nodige fijnheid voor de veel kleinere röntgengolflengten worden gemaakt. Men kan echter een eenkristal van een geschikt materiaal als tralie gebruiken. Het was dan ook aan Von Laue's ontdekking van de diffractie van röntgenstralen door kristallen te danken dat Moseley zijn fundamentele experimenten over

[3]) G. von Hevesy, Chemical analysis by X-rays and its applications, McGraw Hill, New York 1932.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



röntgenspectra kon uitvoeren. De buiging door een kristal gehoorzaamt aan de bekende voorwaarde van Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \Theta;\ n = 1, 2, 3 \ldots \quad (1)$$

Een stel roostervlakken van het kristalrooster, met onderlinge afstand $d$, zal de röntgenstralenbundel met golflengte $\lambda$ alleen kunnen „reflecteren" bij invalshoeken $\Theta$ die aan deze vergelijking voldoen. (Een gereflecteerde straal sluit dan een hoek $2\Theta$ met de invallende straal in.) Als wij voorlopig van de mogelijkheid van reflecties van verschillende orde ($n$) afzien, zal voor een gegeven golflengte reflectie alleen optreden bij een scherp bepaalde hoekstand van het kristal. Om het volledige emissiespectrum van het preparaat op te nemen, moet door draaiing van het kristal het betrokken hoekgebied worden afgetast.

Voor de analyse van het röntgenfluorescentiespectrum komt men aldus tot de opstelling die in *fig. 4a* schematisch is voorgesteld. Deze opstelling lijkt zeer sterk op de opstelling voor röntgendiffractometrie, die eveneens op de vergelijking van Bragg is gebaseerd (fig. 4*b*). In de diffractometrie echter gebruikt men één enkele bekende golflengte voor het analyseren van alle roostervlakkenafstanden $d$ die in een buigend preparaat aanwezig zijn, terwijl bij de spectrochemische analyse één enkele bekende roostervlakkenafstand $d$ van het buigend kristal wordt gebruikt voor het analyseren van alle golflengten die in het spectrum van het preparaat aanwezig zijn. In de diffractometrie wordt derhalve het preparaat gedraaid, en uit de verschillende hoeken $\Theta$ waarbij afgebogen energie wordt gevonden, leidt men de verschillende $d$-waarden af. In de spectrochemische analyse wordt het kristal gedraaid, en uit de verschillende hoeken $2\Theta$ waarbij afgebogen energie wordt gevonden, leidt men de verschillende golflengten af.

Aangezien de apparaturen voor röntgendiffractometrie en voor spectrochemische analyse met röntgenstralen zo sterk op elkaar gelijken, zal het wellicht nuttig zijn enige nadruk te leggen op het verschil tussen de informaties die men met de beide methodes kan verkrijgen. Röntgendiffractiediagrammen geven inlichtingen over de aard, de afmetingen en de orientatie van kristallen. Met diffractieonderzoek identificeert men dus verbindingen door middel van hun specifieke kristalstructuur en hun roostervlakkenafstanden; men onderscheidt verschillende modificaties van gekristalliseerde elementen (bijv. grafiet en diamant); men kan een kwantitatieve analyse van mengsels van gekristalliseerde stoffen uitvoeren; men kan mengsels en vaste oplossingen onderscheiden; men verkrijgt inlichtingen over de orientatie van de kristallieten in een preparaat, over spanningstoestanden, over de kristallietgrootte. Men ziet dat het diffractieonderzoek in hoofdzaak in aanmerking komt voor gekristalliseerde stoffen.

De karakteristieke röntgenspectra daarentegen, die door de atomen van een element worden uitgezonden, zijn onafhankelijk van de kristalstructuur of de chemische samenstelling van het preparaat waarin het element voorkomt, en onafhankelijk van de fysische toestand van het preparaat. De spectrografische analyse van deze röntgenemissie vult derhalve het diffractieonderzoek aan, doordat zij informatie geeft over de chemische elementen waaruit het preparaat bestaat.

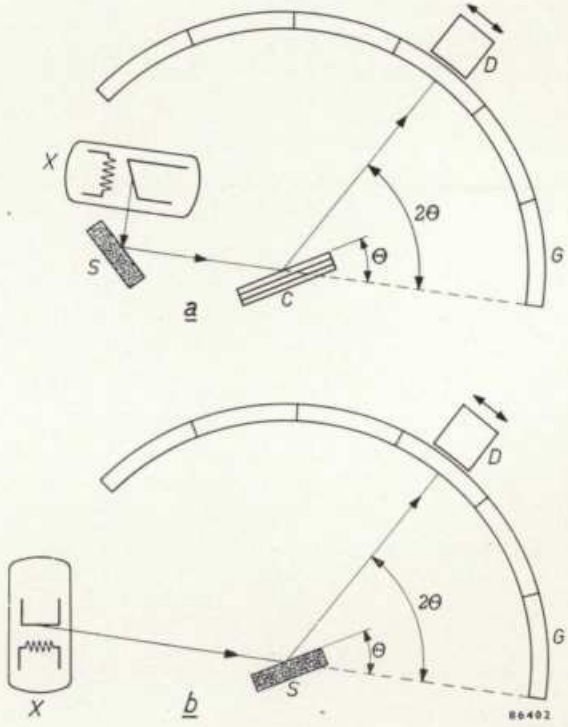



Fig. 4. Schema van de opstelling, *a*) voor spectrochemische analyse met röntgenstralen, *b*) voor poederdiffractometrie. *X* röntgenbuis, *S* preparaat, *C* analysatorkristal, *D* detector, *G* goniometer.

## Bijzonderheden van de techniek

Bij de meer gedetailleerde beschrijving van de apparatuur en de techniek, waartoe wij nu willen overgaan, zullen wij gemakshalve aansluiten op het analyseren van de röntgenspectra, waarover wij het in het voorafgaande hoofdstuk hebben gehad, en hierna terugkeren tot het opwekken wan de spectra en andere bijzonderheden van de techniek. Vooraf willen wij opmerken dat het bij deze beschrijving niet mogelijk zal zijn elke variant in de methodiek die wel eens wordt toegepast, te behandelen of ook maar te vermelden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



*Het registreren der spectra*

De röntgenstraling die door het analyserende kristal onder verschillende hoeken wordt gereflecteerd, kan fotografisch worden geregistreerd (dit was de oorspronkelijke werkwijze die reeds door Moseley en anderen werd toegepast). De moderne methode echter, waarbij men de straling door middel van geigertellers of andere telbuizen aantoont en meet, is voor het doel veel beter geschikt. Men krijgt hierbij een onmiddellijke aanwijzing van de lijnintensiteiten, die voor kwantitatieve chemische analyse van belang zijn en die uit fotografisch opgenomen spectra veel moeilijker zijn af te leiden [4] [5].

Om dit nog nader toe te lichten, slaan wij weer een blik op het gebied van het eigenlijke röntgendiffractieonderzoek. Voor zover het routineonderzoekingen betreft, past men daarbij meestal de Debye-Scherrer-methode toe, waarbij een poedervormig preparaat wordt gebruikt: zulk een preparaat behoeft in principe niet te worden gedraaid, om het volledige diffractiediagram op te leveren, aangezien in elke stand van het preparaat onder de talrijke kristallieten alle mogelijke orientaties (hoeken $\Theta$) ten opzichte van de vaste opvallende bundel zijn vertegenwoordigd. Al de diffractielijnen die tot de verschillende roostervlakkenafstanden $d$ behoren, worden dus gelijktijdig op een fotografische film opgetekend, die men om het preparaat legt. Vervangt men echter de film door een telbuis, dan is het klaarblijkelijk niet te vermijden dat het diffractiediagram moet worden afgetast, en dit moet tamelijk langzaam gebeuren om voldoende quanta bij elke hoekpositie te verzamelen [5]. Dat dit nadeel van de telbuis de „diffractometrische" methode niet belet heeft in talrijke gevallen toepassing te vinden, moet worden toegeschreven aan het voordeel van de gemakkelijke en nauwkeurige bepaling van de intensiteiten, alsmede aan de ontwikkeling van een zeer geperfectioneerde apparatuur met grote nauwkeurigheid en zeer goed scheidend vermogen in $\Theta$ [4] [5] [6].

Doordat de intensiteitsbepaling uit fotografisch opgenomen diffractiediagrammen nogal tijdrovend is, levert de diffractometrie al bij al nog een merkbare tijdsbesparing op. Het is duidelijk dat deze besparing het grootst zal zijn in die gevallen waar slechts enkele lijnen in plaats van het volledige diagram moeten worden gemeten. Dit nu is precies het geval waarmee men in de spectrochemische analyse meestal te maken heeft: voor elk element behoeft slechts één karakteristieke spectraallijn te worden gemeten, en in vele gevallen zullen de elementen waarvan men de concentratie moet bepalen, bekend zijn, zodat slechts een zeer beperkt hoekgebied behoeft te worden afgetast. De gelijktijdige snelle ontwikkeling van de diffractometrie en van de spectrochemische analyse met röntgenstralen is dan ook niet als een toeval te beschouwen [7].

De nauwe verwantschap tussen spectrochemische analyse en diffractometrie blijkt duidelijk uit *fig. 5*, waarin de „Norelco" apparatuur voor spectrochemische analyse met röntgenstralen is afgebeeld. Als we afzien van de houder voor het fluorescerende preparaat en van de röntgenoptische opstelling, bevat deze apparatuur dezelfde elementen als de „Norelco" diffractometer [4].

Bij het onderzoek van een preparaat van onbekende samenstelling gaat men nu gewoonlijk als volgt te werk. Eerst voert men met de registrerende telfrequentiemeter een kwalitatieve analyse uit door het gehele spectrum met matige snelheid (bijv. $\frac{1}{2}^\circ$ of $\frac{1}{4}^\circ$ ($2\Theta$) per minuut) af te tasten. Men kan op deze wijze de aanwezige elementen identificeren en krijgt globale waarden voor hun concentraties; zie *fig. 6*. Daarna voert men nauwkeurige metingen uit door de telbuis op de top van een lijn in te stellen die men voor elk element heeft uitgezocht, en de intensiteiten te meten volgens de methodes met vaste teltijd of met vast aantal quanta [5] [6]. Door een afzonderlijke meting bepaalt men de achtergrond, die men van de topintensiteit moet aftrekken.

*Het opwekken der spectra*

De intensiteit van de röntgenspectraallijnen die men in de tegenwoordige apparatuur door fluorescentie opwekt, is ruwweg een factor 1000 kleiner dan die welke men bij hetzelfde vermogen van de electronenbundel door directe aanslag zou verkrijgen. De zo gemakkelijke fluorescentiemethode is derhalve alleen practisch mogelijk geworden door de ontwikkeling van röntgenbuizen met groot vermogen, van zeer gevoelige detectoren en van geschikte

---

[4]) W. Parrish, E. A. Hamacher en K. Lowitzsch, De „Norelco" röntgendiffractometer, Philips techn. T. **16**, 253-264, 1954 (No. 9).

[5]) W. Parrish, Meting van röntgenintensiteiten met telbuizen, Philips techn. T. **17**, 300-316, 1955 (No. 10).

[6]) E. A. Hamacher en K. Lowitzsch, De „Norelco" telfrequentie-automaat, Philips techn. T. **17**, 334-340, 1955 (No. 11).

[7]) Behoeft men slechts op één bepaalde spectraallijn te letten, dan is het voordeel van de telbuis zo belangrijk dat men deze in zulke gevallen ook in de optische spectrochemische analyse veelvuldig toepast. Een dergelijke toepassing voor doorlopende controle is in dit tijdschrift enkele jaren geleden beschreven: O. G. Koppius, Spectrochemische analyse met een Geiger-telbuis, Philips techn. T. **11**, 219-224, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a

b

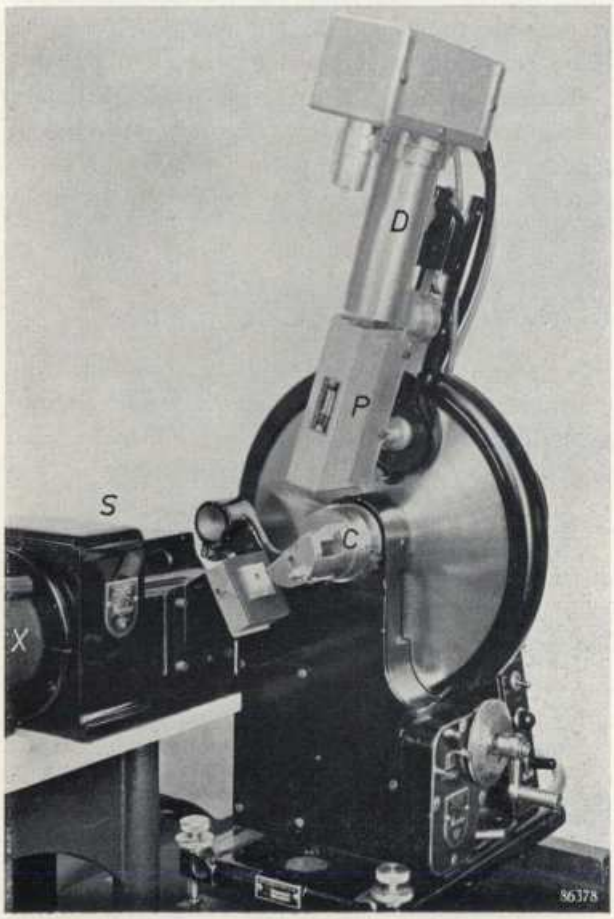


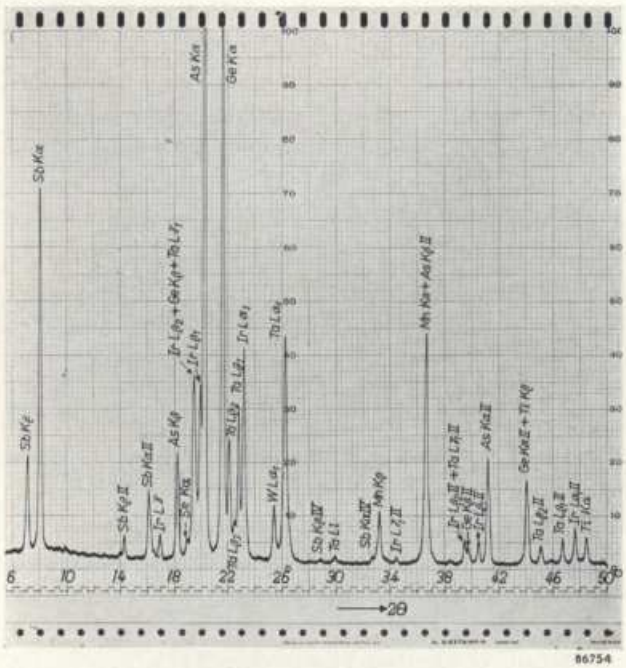

Fig. 5. *a*) „Norelco" apparatuur voor röntgendiffractie en spectrochemische analyse met röntgenstralen. Links ziet men de röntgengenerator met daar bovenop poedercamera's, en een goniometer voor *diffractometrie*; in het midden de röntgenspectrograaf voor *spectrochemische analyse*; rechts de electronische apparatuur met de telfrequentiemeter en het registreertoestel. Voor beide methodes wordt dezelfde röntgengenerator en dezelfde electronische apparatuur gebruikt, maar de methodes kunnen niet gelijktijdig worden toegepast.
*b*) Goniometer in de opstelling voor spectrochemische analyse: *X* horizontaal geplaatste röntgenbuis, *S* preparaatkamer, *C* analysatorkristal, *P* spleetraster, dat deel uitmaakt van de röntgenoptische opstelling, *D* stralingsdetector (scintillatieteller).

röntgenoptische opstellingen. Het is echter misleidend de twee methodes van opwekking alleen op grond van hun intensiteitsverschil te vergelijken. De intensiteit is van belang met het oog op de tijd die men nodig heeft om ze te meten: men moet een zeker aantal quanta vergaren om de statistische fout van de meting voldoende klein te maken [5]). De gevoeligheid van de analyse echter, d.i. de kleinste aantoonbare concentratie van een bijmengsel in een preparaat, hangt af van de verhouding tussen de topintensiteit en de achtergrond van de spectraallijn. Deze verhouding is in de fluorescentiespectra in het algemeen veel groter, dank zij de afwezigheid van het continue röntgenspectrum. Het verschil in

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023






86754

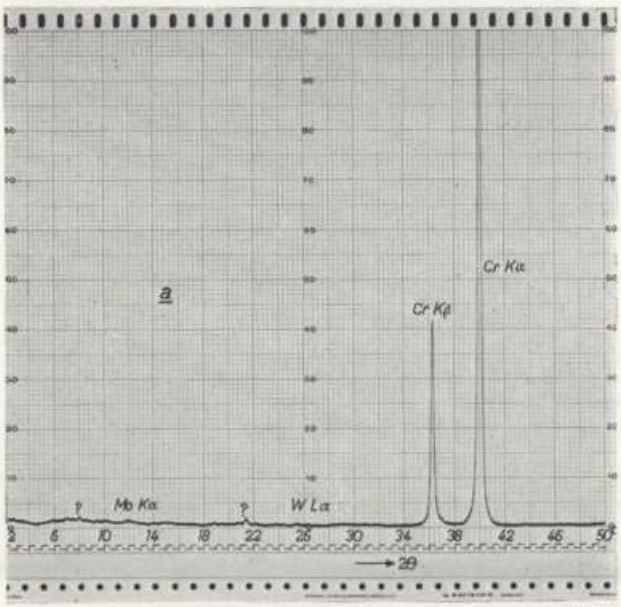
Fig. 6. Registrogram ter illustratie van de kwalitatieve spectrochemische analyse met röntgenstralen van een mengsel van verscheidene elementen. Analysatorkristal kwarts (10$\bar{1}$1-vlak), scintillatieteller, aftastsnelheid $\frac{1}{2}$°/min. Men ziet de K-spectra van Ti, Mn, Ge, As, Se, Sb en L-spectra van Ta, W en Ir. (De hogere-ordereflecties zijn met Romeinse cijfers aangegeven.)

de spectra wordt door *fig. 7* duidelijk geïllustreerd.

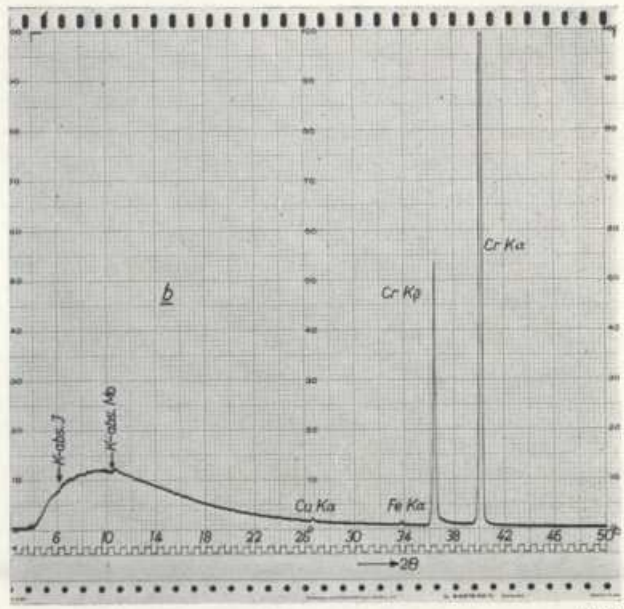
De vraag doet zich voor, welk soort primaire röntgenstraling het geschiktst is om fluorescentie op te wekken. Hierboven is vermeld dat de trefplaat voor de primaire röntgenstralen altijd een continu spectrum zal uitzenden. Bij een gegeven versnellingsspanning $V$ van de electronen begint dit spectrum abrupt bij een golflengte $\lambda_{min}$, stijgt tot een breed maximum en neemt met toenemende golflengte weer geleidelijk af (*fig. 8*); tussen de grensgolflengte (in Å) en de spanning (in kV) bestaat de betrekking

$$V = 12{,}35/\lambda_{min} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Verhoogt men de spanning (waardoor de aan elk electron, met lading $e$, medegedeelde energie $eV$ toeneemt), dan verschuift de grens van het spectrum naar kortere golven. Zodra de energie $eV$ groter wordt dan de energie die nodig is om het electron uit een baan bijv. in de M-schil van een atoom in de trefplaat te verwijderen, dan worden, behalve het continue spectrum, alle op deze baan uitkomende M-lijnen van het karakteristieke spectrum van het trefplaatmateriaal uitgezonden. Bij verder opvoeren van de spanning neemt de intensiteit der M-lijnen




86453




86454

Fig. 7. *a*) Het karakteristieke K-spectrum van chroom, opgewekt door de röntgenstraling bij 50 kV (top) van een wolfraamtrefplaat (fluorescentie). In dit geval wordt geen continu spectrum aangeslagen. (De zwakke L*α*-lijn van W is te wijten aan verstrooiing door het preparaat en het kristal. De met een vraagteken aangegeven lijnen bij 8° en 21,5° zijn niet geïdentificeerd.)
*b*) Het karakteristieke K-spectrum van chroom, verkregen door direct electronenbombardement bij 50 kV (top). Het spectrum is gesuperponeerd op het continue spectrum. De stroom door de röntgenbuis is zoveel kleiner gemaakt dan in (*a*) dat ongeveer dezelfde intensiteit van de K-lijnen werd verkregen.
De twee absorptiekanten zijn afkomstig van jodium (in het scintillerende kristal) en van molybdenium (in de spleten). De koper- en ijzerlijnen stammen van verontreinigingen van de trefplaat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



snel toe, en bij een zekere spanning treden groepen lijnen van de L-serie en bij nog hogere spanning van de K-serie op.

Soortgelijke beschouwingen gelden voor de „secundaire trefplaat", dat is het preparaat, waarop de primaire röntgenstralenbundel wordt

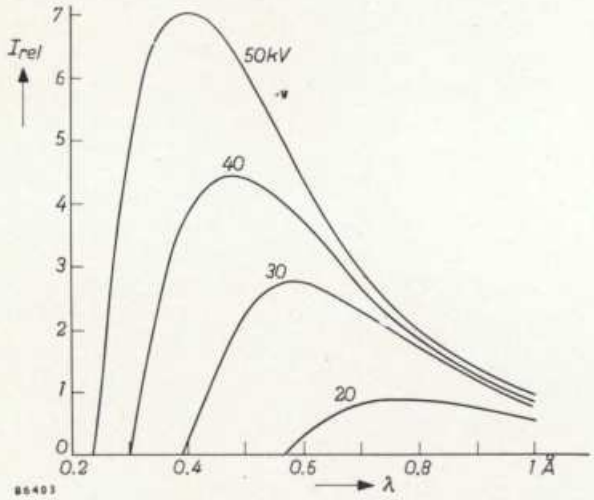



Fig. 8. Het continue spectrum (relatieve intensiteit $I_{rel}$ als functie van de golflengte $\lambda$) van een röntgenbuis met wolfraamtrefplaat, bij verschillende buisspanningen (topwaarden) en dezelfde buisstroom. De krommen zijn nagetekend van registrogrammen, verkregen met de telfrequentiemeter. Experimentele gegevens: dubbelzijdige gelijkrichting, analysatorkristal silicium (111-vlak), scintillatieteller.

gericht. Door het preparaat wordt primaire straling in een breed golflengtegebied meer of minder sterk geabsorbeerd. Met afnemende golflengte neemt de energie der geabsorbeerde fotonen toe, en als een zekere golflengte $\lambda_{min}$, die karakteristiek is voor het element, wordt bereikt, zal deze energie voldoende zijn om een electron uit een der banen bijv. van de M-schil te werpen. Men ziet dan een groep M-lijnen verschijnen, en de absorptie van dit element als functie van de golflengte vertoont bij deze golflengte (of feitelijk bij een iets kleinere) een discontinuïteit (absorptiekant). Bij nog kleinere golflengten treden verdere absorptiekanten op, die tot andere banen behoren; zo heeft ieder element vijf absorptiekanten voor het M-spectrum, drie voor het L-spectrum en één voor het K-spectrum (*fig. 9*).

Voor het aanslaan van de fluorescentie heeft men klaarblijkelijk een primaire straling nodig met een golflengte kleiner dan die van de absorptiekant der spectraallijnen die men voor de analyse van een gegeven element heeft gekozen. Continue zowel als karakteristieke straling van de primaire trefplaat kan voor het aanslaan worden gebruikt. Opgemerkt dient echter dat men voor het verkrijgen van een continu spectrum van voldoend korte golven de spanning op de röntgenbuis moet laten voldoen aan verg. (2), waarbij $\lambda_{min}$ nu de gekozen absorptiekant van het te analyseren element betekent. Zo zal voor het aanslaan van de K-serie in een aluminiumpreparaat een spanning $V = 1{,}6$ kV op de röntgenbuis voldoende zijn, terwijl voor een uraniumpreparaat een spanning van 115 kV nodig is. Aangezien de röntgenapparatuur die men gewoonlijk voor spectrochemische analyse gebruikt, niet ingericht is voor buisspanningen boven ongeveer 50 kV, kan men elementen met een atoomnummer boven ongeveer 60 (neodymium) niet met een K-lijn analyseren. De voor de L-serie nodige spanning loopt slechts op tot 21,7 kV voor uranium, zodat men ook voor de elementen met de hoogste atoomnummers L-lijnen kan gebruiken.

Hieronder zullen de beperkingen van de methode ten gevolge van de spanning en ten gevolge van andere factoren nader worden besproken. In *tabel I* zijn als voorbeeld gegevens over de golflengten van een aantal elementen bijeengebracht [8]).

De totale energie van het continue spectrum van de primaire trefplaat kan enige malen groter zijn dan die van het karakteristieke spectrum (zie fig. 7*b*). De verhouding hangt voornamelijk van de spanning af; voor een koperen trefplaat is bij 50 kV

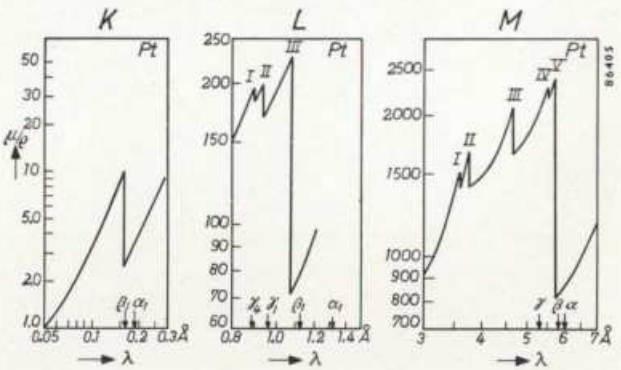



Fig. 9. Massa-absorptiecoëfficient ($\mu/\varrho$) van platina als functie van de golflengte $\lambda$, in het gebied van de K-, L- en M-absorptiekanten. Enige emissielijnen van de K-, L- en M-serie van platina zijn door pijlen aangegeven.

de energie van het continuum een orde groter dan die van de K$\alpha$-lijnen. Doordat echter de fluorescentie van het preparaat in hoofdzaak wordt aangeslagen door de straling die het dichtst bij de absorptiekant ligt, kunnen de karakteristieke lijnen in de primaire straling toch een belangrijke rol spelen. Het L-spectrum van wolfraam bijv. (dat men in fig. 1*b* ziet) is zeer belangrijk voor het opwekken

[8]) Een volledige lijst van röntgengolflengten is gepubliceerd door Y. Cauchois en H. Hulubei, Longueurs d'onde des émissions X et des discontinuités d'absorption X, Hermann & Cie, Parijs 1947. Zie ook S. Fine en C. F. Hendee, Nucleonics **13**, 36-37, 1955 (No. 3).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**Tabel I.** Karakteristieke röntgengolflengten (in Å) van enkele elementen.

| Element (atoomnummer) | K-abs.-kant | $K\beta_1$ | $K\alpha_1$ | $L_{III}$-abs.-kant | $L\gamma_1$ | $L\beta_1$ | $L\alpha_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Al (13) | 7,951 | 7,981 | 8,338 | | | | |
| Cr( 24) | 2,070 | 2,085 | 2,290 | 20,7 | | 21,32 | 21,71 |
| Cu(29) | 1,381 | 1,392 | 1,540 | 13,29 | | 13,08 | 13,36 |
| Zr (40) | 0,688 | 0,701 | 0,786 | 5,58 | 5,38 | 5,84 | 6,07 |
| Nd(60) | 0,285 | 0,294 | 0,332 | 1,995 | 1,878 | 2,166 | 2,370 |
| W (74) | 0,178 | 0,184 | 0,209 | 1,215 | 1,098 | 1,282 | 1,476 |
| U (92) | 0,107 | 0,111 | 0,126 | 0,722 | 0,615 | 0,720 | 0,911 |

van K-fluorescentie van de elementen met atoomnummer van ongeveer 34 (Se) tot 25 (Mn). In een bepaald geval, nl. nikkel (atoomnummer 28) dat werd aangeslagen met een röntgenbuis met wolfraamtrefplaat bij 40 kV (dubbelzijdig gelijkgerichte spanning), bleek slechts ongeveer 10% van de intensiteit van de $K\alpha$-straling te danken te zijn aan het continuum van het wolfraam, 40% aan de $L\alpha_1\alpha_2$-lijnen en 50% aan de $L\beta$- en $L\gamma$-lijnen van het wolfraam. Natuurlijk zal het in het algemeen niet mogelijk zijn een primaire trefplaat uit te zoeken waarvan de lijnen vlak bij de absorptiekanten van de te analyseren elementen liggen, zodat men ermee moet volstaan het continuum voor de aanslag te gebruiken. Voor een grote groep van elementen is wolfraam als primair trefplaatmateriaal bruikbaar, en men kan dan met grote zuivere preparaten fluorescentie-intensiteiten van $10^5$-$10^6$ quanta per seconde verkrijgen. Men moet echter geen wolfraamstraling gebruiken voor de analyse van wolfraam in een preparaat, en algemeen geldt dat men voor het aanslaan van een element niet hetzelfde element als primair trefplaatmateriaal moet gebruiken. De reden hiervoor is dat de primaire straling — zowel de continue als de karakteristieke — door het preparaat en door het analyserende kristal tot op zekere hoogte wordt verstrooid en daardoor in het spectrogram met een zekere intensiteit zal optreden (zie fig. 7*a*). Gewoonlijk bedraagt deze intensiteit minder dan 1% van die der belangrijkste fluorescentielijnen van het preparaat. De bijdrage van een verstrooide primaire L-lijn van wolfraam zou men natuurlijk niet kunnen onderscheiden van de fluorescentie-intensiteit van dezelfde L-lijn.

Dank zij het in dit hoofdstuk besproken regelmatige verloop van de absorptiekanten met het atoomnummer, kan men een golflengtebepaling van deze kanten in het preparaat ook dienstbaar maken aan een chemische analysemethode. Kwantitatieve bepalingen zijn dan mogelijk door meting van de absorptiecoëfficient met een monochromatische of soms ook een polychromatische röntgenstralenbundel. Wij zullen deze methode, die veel beperkter is dan de analyse die gebruik maakt van de emissiespectra, hier niet nader bespreken [9]).

*De röntgenbuis*

De röntgenbuis, die de primaire röntgenstralenbundel levert, lijkt op die voor röntgendiffractieonderzoek, met als belangrijkste verschil dat het focus veel groter is, nl. 10 × 5 mm, en dat men dit niet onder een zeer kleine hoek laat uitstralen (deze hoek bedraagt 20°). In tegenstelling namelijk met alle gevallen waarin de röntgenstralenbron wordt gebruikt voor het verkrijgen van beelden (hetzij schaduwbeelden zoals in de diagnostiek, of spleetbeelden zoals bij de diffractie), heeft het bij de bestraling van fluorescerende preparaten geen zin een puntvormige bron te gebruiken. Een groter focus heeft het voordeel dat het sterkere belastingen toelaat. Natuurlijk hangt de toelaatbare belasting ook af van de warmtegeleiding en het smeltpunt van het voor de primaire trefplaat gekozen metaal. In de met water gekoelde „Norelco" buis kan men een wolfraamtrefplaat bij een focus van 10 × 5 mm continu met 3,5 kW belasten, bij een focus van 10 × 1,6 mm (dat men voor diffractie gebruikt) slechts met 1 kW.

Een belangrijk punt is de keuze van de spanning voor de röntgenbuis. Kan men voor het opwekken van de fluorescentie geen primair trefplaatmateriaal met een geschikt lijnenspectrum uitzoeken doch moet men het continue spectrum van een wolfraamtrefplaat gebruiken, dan zal het gewoonlijk wenselijk zijn de röntgenbuis op de hoogste toelaatbare spanning te laten werken. Men bereikt dan dat zoveel mogelijk van de onbekende elementen in het preparaat zullen gaan fluoresceren. Men krijgt ook de grootst mogelijke fluorescentie-intensiteit van ieder element, daar met toenemende buisspanning het gedeelte van het continuum dat golflengten heeft kleiner dan die van de gegeven absorptiekant, zal toenemen (zie fig. 8).

In twee gevallen zal men de buisspanning niet zo hoog mogelijk kiezen. Ten eerste indien het juist gewenst is, niet alle bestanddelen van het preparaat te doen fluoresceren (selectieve aanslag); hierop wordt in het Aanhangsel van dit artikel nader ingegaan. Ten tweede indien het op te wekken fluorescentiespectrum zeer langgolvig is. De reden is in dit geval de verstrooiing van de primaire straling in het systeem. De verhouding

[9]) A. Engström, Acta Radiologica, Supp. 63, 1946. H. A. Liebhafsky, Anal. Chem. **21**, 17-24, 1949; **22**, 15-16, 1950; **23**, 14-16, 1951; **24**, 16-20, 1952; **25**, 689-692, 1953. B. Lindström, Acta Radiologica, Supp. 125, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



van topintensiteit tot achtergrond wordt bij hogere spanningen kleiner, doordat bij een zelfde vermogen van de röntgenbuis de hoogte van het maximum van het continuum meer toeneemt dan de intensiteit bij langere golven (fig. 8).

Voor de selectieve aanslag en in het algemeen bij relatief lage buisspanningen is het van voordeel als men de röntgenbuis op constante potentiaal laat werken in plaats van op de meer gebruikelijke dubbelzijdig gelijkgerichte spanning. Bij deze laatste schuift het verkregen continue röntgenspectrum gedurende elke periode heen en weer en bereikt het zijn uiterste stand naar korte golven alleen gedurende de top van de spanning. Bevat het preparaat een element waarvan de aanslagpotentiaal niet ver beneden de top van de buisspanning ligt, dan zal dit alleen gedurende een kort gedeelte van de periode worden aangeslagen. Voor de K$\alpha$-lijn van een aantal elementen is in *fig. 10* de intensiteitswinst uitgezet die men verkrijgt als men de röntgenbuis laat werken op een constante potentiaal van 30 kV in plaats van op een dubbelzijdig gelijkgerichte spanning met topwaarde 30 kV.

Bij een vergelijking van de verschillende spanningsvormen moet men natuurlijk rekening houden met de toelaatbare belasting van het beschikbare toestel. Bij het „Norelco" diffractietoestel wordt dubbelzijdige gelijkrichting toegepast en is het vermogen 2,5 kW, terwijl het door Philips te Eindhoven gefabriceerde toestel PW1010 een constante spanning levert maar met een vermogen van niet meer dan 1 kW. Uit hetzelfde oogpunt moet bekeken worden of het nut kan hebben de spanning op de röntgenbuis te verlagen, aangezien dit grotere buisstromen nodig zal maken, als men het vermogen op hetzelfde peil wil handhaven. Bij de voor spectrochemische analyse beschikbare afgesmolten röntgenbuizen en bij de „Norelco" generator zijn de buisstromen beperkt tot ongeveer 50 mA, zodat men bij spanningen beneden 50 kV niet het volle toelaatbare vermogen kan gebruiken.

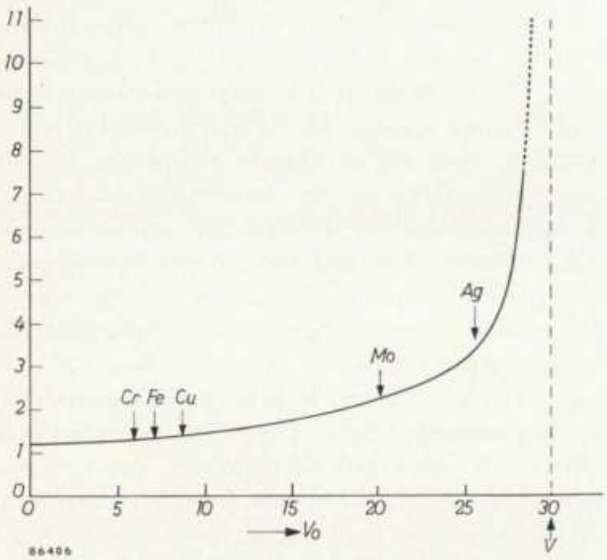



Fig. 10. Als functie van de kritische aanslagpotentiaal $V_0$ is uitgezet de factor die men in de intensiteit van de fluorescentie-(K$\alpha$-lijn) wint bij voeding van de röntgenbuis met constante potentiaal $V$ in plaats van dubbelzijdig gelijkgerichte spanning met topwaarde $V$. De kromme is berekend voor $V = 30$ kV met de onderstelling dat de intensiteit volgens $(V - V_0)^2$ toeneemt en met verwaarlozing van de zelfabsorptie in het preparaat. De winstfactor voor een element is groter naarmate diens kritische aanslagpotentiaal $V_0$ hoger ligt; enkele typische elementen zijn aangegeven. De winstfactor neemt ook toe als de voedingsspanning $V$ wordt verlaagd.

Bij lage spanningen is het van bijzonder belang een röntgenbuisvenster te gebruiken dat de primaire röntgenstralenbundel zonder veel verlies doorlaat. De berylliumvensters, die men gewoonlijk gebruikt, variëren in dikte tussen ongeveer 1,5 en 1 mm en laten röntgenstralen tot ongeveer 3 of 4 Å door, zoals men in *fig. 11* ziet.

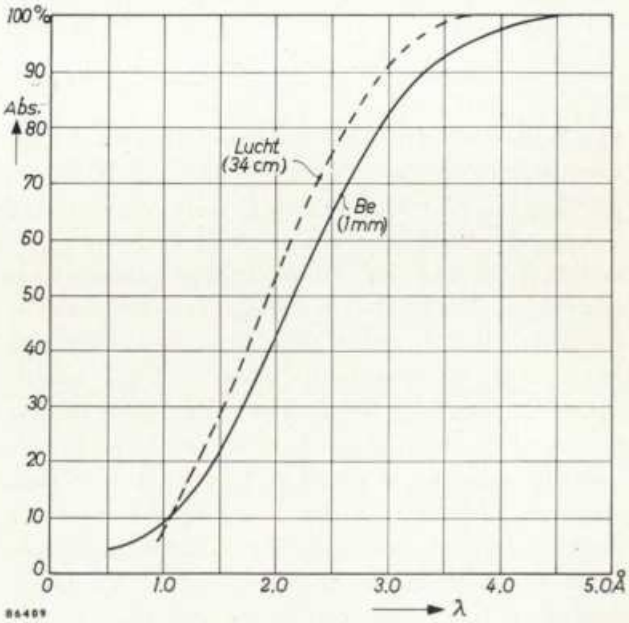



Fig. 11. Als functie van de golflengte der röntgenstralen is uitgezet de procentuele absorptie door een 1 mm dik berylliumvenster en die door een luchtweg van 34 cm lengte.

Deze zachte röntgenstralen worden merkbaar in lucht geabsorbeerd, zodat hier grote intensiteitsverliezen kunnen optreden. De absorptie in lucht op een weg van 34 cm lengte (zoals in het „Norelco" toestel voorkomt) is in fig. 11 eveneens uitgezet. Het probleem van de absorptie in lucht voor fluorescentiestraling van deze en zelfs nog langere golven kan men op eenvoudige wijze oplossen door de baan van de röntgenstralen in de goniometer in helium in plaats van in lucht te leggen. Te dien einde brengt men een buigzame zak van rubber of van polyethyleen op de goniometer aan en laat men voortdurend helium door het systeem stromen, zie *fig. 12*; op deze wijze is bij de „Norelco" goniometer een doorlating van ongeveer 85% voor K$\alpha$-straling van aluminium met $\lambda = 8{,}3$ Å bereikt. Waar helium niet gemakkelijk verkrijgbaar is, kan men de baan in vacuum leggen. Men heeft dan nog twee vensters méér nodig; voor dit doel heeft men dun „Mylar" (een plastiek) gebruikt, waarvan een foelie ter dikte van 0,06 mm ongeveer 45% van K$\alpha$ van Al absorbeert.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



*Röntgenoptische opstelling*

Om voldoende straling voor de analyse van bijmengsels in geringe concentratie te verzamelen, is het wenselijk dat een grote preparaatoppervlakte als stralenbron fungeert. Daarbij is het niet mogelijk de schijnbare fluorescerende stralenbron klein te maken door het preparaat onder een kleine hoek met het oppervlak te laten uitstralen.

Deze bekende kunstgreep, waarvan men zich bij vrijwel elke toepassing van röntgenstralen bedient om een puntvormige of lijnvormige bron van grote helderheid te verkrijgen (zie boven), kan alleen worden toegepast bij aanslag door electronenbombardement. De electronen worden op relatief geringe diepte, gewoonlijk een fractie van 1 $\mu$ beneden het oppervlak, tot staan gebracht, zodat slechts een dunne laag van de trefplaat als röntgenbron fungeert. Deze laag is nagenoeg doorzichtig voor de uitgezonden röntgenstralen, ook voor die stralen die in schuine richting uittreden. In het geval van fluorescentie daarentegen worden de primaire röntgenstralen, die de fluorescentiestraling opwekken, pas door een vrij dikke laag van het preparaat geabsorbeerd — welke absorptie zich dan even sterk voor de uitgezonden straling doet gevoelen. Derhalve wordt bij uitzending onder kleine hoeken geen winst in helderheid verkregen (het preparaat straalt volgens Lambert).

Bij een fluorescerende bron van grote schijnbare afmetingen kan men geen focusserende opstelling zoals in de diffractometer [4]) gebruiken. De opstelling waarmee men in de meeste gevallen werkt en die ook in de „Norelco" apparatuur is toegepast, ziet men in *fig. 13* [10]). De analysator is een grote vlakke eenkristalplaat ter breedte van ongeveer $2^1/_2$ cm en ter lengte van ongeveer $7^1/_2$ cm. Staat het kristal voor een bepaalde fluorescentielijn onder de juiste hoek $\Theta$ (zie verg. (1) ), dan zal de straling van elk gedeelte van het grote preparaat door een bepaalde zone van het kristal worden gereflecteerd, zoals in de figuur is getekend. Het venster van de detector moet groot genoeg zijn om alle, (vrijwel) evenwijdige, gereflecteerde stralen op te vangen.

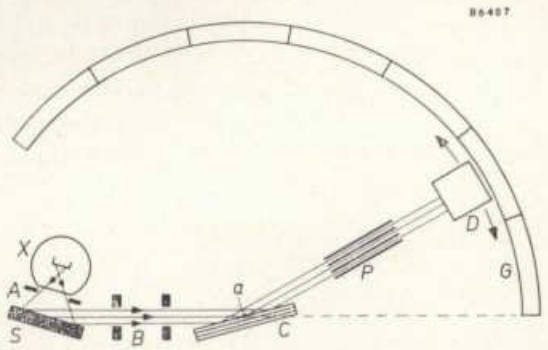



Fig. 13. Niet-focusserende röntgenoptische opstelling voor de fluorescentie-analyse van grote preparaten. $S$ preparaat, aangeslagen door de primaire straling van de röntgenbuis $X$; $C$ analysatorkristal, dat om de as $a$ wordt gedraaid om de verschillende golflengten af te tasten. De detector $D$ wordt op de goniometer $G$ met de dubbele hoeksnelheid van het kristal gedraaid. Door het spleetraster $P$ wordt het vereiste scheidende vermogen voor de reflectiehoeken verkregen; dit vermogen is ten naaste bij bepaald door de hoekopening $2\alpha$ van de spleten ($\mathrm{tg}\,\alpha = s/l$, waar $l$ de lengte en $s$ de afstand van de foelies betekent). De spleten $A$ en $B$ verminderen de verstrooide straling.

(Er dient op te worden gewezen dat het spleetraster in dit geval een andere functie heeft dan in de röntgenoptiek van de diffractometer: het staat hier 90° gedraaid ten opzichte van de stand in de diffractometer [4]). Friedman en Birks [10]) gebruikten buisjes in plaats van foelies.)

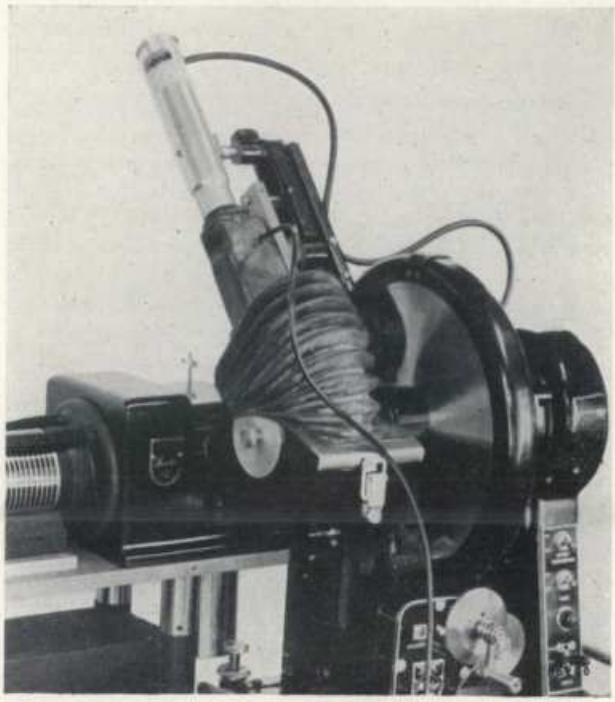


Fig. 12. Heliuminrichting voor het „Norelco" toestel. Door de baan van de röntgenstralen binnen een rubberzak te leggen die met helium is gevuld, worden de aanzienlijke verliezen die zachte röntgenstralen door de absorptie in lucht ondergaan, vermeden. Deze werkwijze is gemakkelijker dan het werken in vacuum.

Men kan zich het geheel voorstellen als bestaande uit een groot aantal afzonderlijke systemen, die met evenwijdige nauwe bundels werken, welke gescheiden zijn door de reeks evenwijdige dunne metaalfoelies (spleetraster), die tussen het kristal en de detector geplaatst zijn. De functie van deze metalen scheidingswanden kan men als volgt begrijpen (*fig. 14*). De invallende en de gereflecteerde stralen voor een bepaalde hoekwaarde $\Theta$ kan men zich op ieder punt van het analysatorkristal hieraan bevestigd denken. Wordt het kristal gedraaid, dan tasten de „invallende" stralen hun bron (het preparaat) af en zij zullen deze binnen een zeker hoekgebied $\Delta\Theta$ van het kristal blijven „zien". Waren de

[10]) Een dergelijke opstelling is het eerst beschreven door H. Friedman en L. S. Birks, A Geiger counter spectrometer for X-ray fluorescence analysis, Rev. sci. Instr. **19**, 323-330, 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



scheidingswanden niet aanwezig, dan zou dit hoekgebied ook ongeveer de breedte van de geregistreerde fluorescentielijn zijn, aangezien het grote venster van de detector, alhoewel deze over de dubbele hoek, $2\Delta\Theta$, wordt gedraaid, steeds een gedeelte van de gereflecteerde stralen zou blijven opvangen. Door het spleetraster echter wordt de geregistreerde lijnbreedte tot een redelijke waarde beperkt, zodat men een bruikbaar scheidend vermogen krijgt; dit hangt nog af van de hoekopening $2\alpha$ van de spleten van het raster. Met een raster van $2\alpha = 0{,}58°$ werd in een bepaald geval een lijn ter breedte van 0,69° ($2\Theta$) verkregen. Verkleining van $2\alpha$ met een factor 4 (tot 0,15°) verbetert het scheidend vermogen met een factor 3 (lijnbreedte 0,23°), wat voor de meeste analytische doeleinden voldoende is. Het verbetert ook de verhouding van top tot achtergrond met een factor 3, maar het vermindert de intensiteit met een factor 2.

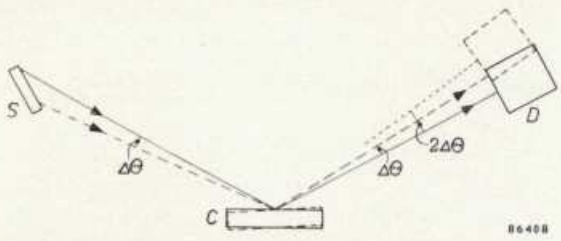



Fig. 14. Liet men het spleetraster weg, dan zou de detector bij draaiing van het analysatorkristal gereflecteerde stralen met een reflectiehoek $\Theta$ blijven ontvangen binnen een zeker hoekgebied $\Delta\Theta$, dat van de grootte van het preparaat afhangt. Door de invoering van het spleetraster wordt dit hoekgebied beperkt.

Zijn slechts kleine preparaten beschikbaar, zodat de fluorescentie-intensiteit veel kleiner wordt, aangezien slechts een kleiner gedeelte van de primaire straling wordt opgevangen, dan is het wenselijk een wijdere bundel van de door het preparaat uitgezonden straling te gebruiken, om in redelijke tijd voldoende quanta te verzamelen. Men kan dan met een focusserende opstelling als in *fig. 15* werken. Het reflecterende oppervlak van het analysatorkristal is nu gebogen. Het preparaat (dat hier een puntvormige of lijnvormige stralenbron is), het reflecterende oppervlak van het kristal en de ontvangspleet van de detector liggen alle op een vaste cirkel met straal $r$. Om de beste focussering te bewerkstelligen [11]), wordt het kristal eerst gebogen zodat de reflecterende roostervlakken een kromtestraal $2r$ krijgen, en vervolgens wordt het reflecterende oppervlak van het gebogen kristal zo geslepen dat het een kromtestraal $r$ krijgt. Het spectrum wordt afgetast door zowel het kristal als de detector langs de focusseringscirkel te bewegen, het eerste half zo snel als de laatste. Bij deze beweging wordt

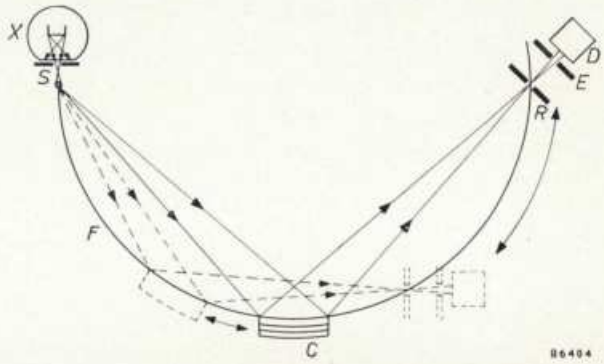



Fig. 15. Focusserende röntgenoptische opstelling voor kleine preparaten. Men gebruikt hierbij een gebogen analysatorkristal $C$. Het preparaat $S$ is een lijnvormige bron (loodrecht op het vlak van de tekening). $S$, $C$ en de ontvangspleet $R$ van de detector liggen op de focusseringscirkel $F$. Om verschillende golflengten te meten, wordt het kristal $C$ met de halve hoeksnelheid van $R$ langs $F$ bewogen (zie de gestippelde lijnen) en de detector met zijn spleet $E$ tegen verstrooide straling wordt om $R$ gezwenkt [12]).

de detector, met de vóórgeplaatste spleet die verstrooide straling tegenhoudt, door een eenvoudig mechaniek om het middelpunt van de ontvangspleet gezwenkt, zodat de detector voortdurend het gehele kristal blijft zien. Een dergelijke röntgenoptische opstelling heeft men met succes voor de fluorescentieanalyse van preparaten van slechts enkele milligrammen toegepast [12]).

De beschreven focusserende opstelling kan men ook voor grote preparaten gebruiken. Het kleine preparaatje van fig. 15 wordt dan vervangen door een nauwe spleet, die een stralenbundel van het erachter geplaatste grote preparaat doorlaat. Op deze wijze krijgt men echter geen grotere intensiteit en geen beter scheidend vermogen dan met de niet-focusserende opstelling volgens fig. 13, die met een vlak kristal werkt.

*De detector*

Voor de spectrochemische analyse met röntgenstralen worden in principe dezelfde detectoren gebruikt als in de diffractometrie. Aan deze detectoren zal een afzonderlijk artikel in dit tijdschrift worden gewijd, zodat wij hier met enkele opmerkingen willen volstaan.

De meest gebruikte detector voor röntgendiffractie en spectrochemische analyse is lange tijd de geigertelbuis geweest [4]). In zijn moderne vorm, waarbij een halogeen als doofmiddel wordt gebruikt,

[11]) Zie bijv. Y. Cauchois, Recent developments in bent-crystal technique, Trans. Instr. Conf. Stockholm, 1949, 41-45.

[12]) L. S. Birks en E. J. Brooks, Applications of curved-crystal X-ray spectrometers, Anal. Chem. **27**, 437-440, 1955 (No. 3).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



heeft deze een gevoelig volume dat groot genoeg is om vrijwel de gehele brede bundel die in de röntgenoptische opstelling volgens fig. 13 wordt gebruikt, op te vangen. Zijn belangrijkste beperking is de lange dode tijd (ongeveer 270 microseconden), waardoor bij grote intensiteiten telverliezen ontstaan, en zijn geringe gevoeligheid voor korte golven (ten gevolge van geringe absorptie). De proportionele teller, die de laatste jaren voor röntgenmetingen is ontwikkeld, heeft ongeveer dezelfde spectrale gevoeligheid als de geigerteller, maar een zeer korte dode tijd (kleiner dan 1 microseconde). De meest universeel toepasbare detector voor fluorescentieanalyse is de scintillatieteller. Hij heeft met de proportionele teller het voordeel gemeen dat hij het probleem van de dode tijd uitschakelt, en bovendien heeft hij, indien men NaJ als scintillerend kristal gebruikt, een vrijwel constante grote spectrale gevoeligheid in het gehele interesserende golflengtegebied (*fig. 16*).

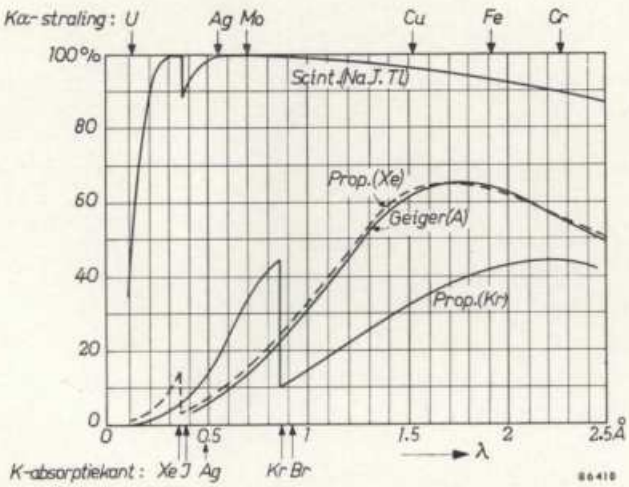



Fig. 16. Berekend quantumrendement (in %) van verschillende detectoren voor röntgenstraling, als functie van de golflengte. Scintillatieteller met een 1 mm dik NaJ(Tl) kristal; geigerteller, „Norelco" type No. 62019, micavenster van 13 μ aan buiseinde, argon onder een druk van 55 cm Hg, lengte 10 cm; proportionele teller, zijvenster van 130 μ beryllium + 13 μ mica, xenon onder een druk van 30 cm Hg, lengte 2,7 cm; proportionele teller, als de vorige maar met krypton onder een druk van 50 cm Hg. (Uit: J. Taylor en W. Parrish, Rev. sci. Instr. **26**, 367, 1955, No. 4.)

Bij de proportionele en bij de scintillatieteller is de hoogte van de impuls die door een röntgenquantum wordt opgewekt, evenredig met de quantumenergie, dus omgekeerd evenredig met de golflengte. Met een geschikte „impulshoogtezeef" kan men van deze eigenschap met groot voordeel gebruik maken om de verhouding van top tot achtergrond te vergroten en om spectrale lijnen van verschillende elementen te scheiden wanneer deze gedeeltelijk over elkaar vallen (zie het Aanhangsel).

*Het analysatorkristal*

Het kristal door welks diffractie men de fluorescentiespectra analyseert, moet aan de volgende eisen voldoen.

Het moet een zodanige chemische samenstelling hebben dat zijn eigen fluorescentie, die door de opvallende fluorescentiestraling wordt veroorzaakt, de metingen niet kan storen. Werkt men met golflengten beneden 3 Å, dan moet het kristal daarom geen elementen met atoomnummer boven 20 bevatten; de K-straling van de kristalelementen zal dan grote golflengten hebben en zal, voor zij de detector bereikt, volledig door de lucht worden geabsorbeerd. Werkt men met golflengten groter dan 3 Å, dan mag het kristal elementen met hoger atoomnummer bevatten, mits hun L-spectra niet in het gebied vallen waarin men werkt (hun K-spectra worden in dit geval niet aangeslagen). Het kristal moet groot genoeg zijn opdat men met brede bundels als in fig. 13 kan werken. Bovendien moet het reflecterende oppervlak nagenoeg volmaakt zijn, dwz. vrij van fouten ten gevolge van slijpen of splijten, en het kristal moet ook geen duidelijke mozaiekstructuur bezitten, waarbij verschillende gedeelten een iets verschillende orientatie hebben. Zulk een structuur zou de lijnbreedte overeenkomstig de spreiding der orientatie van de mozaiekstukken vergroten, zij zou de topintensiteit verkleinen, en zij zou zelfs tot splitsing van een lijn in verschillende toppen kunnen leiden, waardoor de interpretatie van het spectrum aanzienlijk bemoeilijkt wordt [13]).

Verder moet het analysatorkristal een voor de diffractie geschikte roostervlakkenafstand $d$ bezitten. Volgens verg. (1) zal bij een gegeven golflengte $\lambda$ de reflectiehoek $2\Theta$ groter zijn naarmate $d$ kleiner is. De $d$-waarde moet het liefst zo klein zijn dat de hoek $2\Theta$ ook bij de kortste voorkomende golven groter dan ongeveer 10° of 15° wordt; men heeft anders buitensporig lange analysatorkristallen nodig om te voorkomen dat de directe fluorescerende bundel in de detector komt (zie fig. 13). Een kleine $d$-waarde is ook gunstig om een grote dispersie $\mathrm{d}\Theta/\mathrm{d}\lambda$ van het spectrum te verkrijgen, waardoor de scheiding van naburige lijnen mogelijk wordt gemaakt; men ziet dit door verg. (1) te differentiëren:

$$\frac{\mathrm{d}\Theta}{\mathrm{d}\lambda} = \frac{n}{2d\cos\Theta}. \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

[13]) Het kristal moet niet — en zal in de praktijk ook nooit — volmaakt zijn op een atomaire schaal: geringe onvolmaaktheden in de rangschikking der atomen zijn noodzakelijk om een reflectie over een eindig hoekgebied en met een eindige intensiteit te krijgen; zie bijv. R. W. James, The optical principles of the diffraction of X-rays, G. Bell and Sons, Londen 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



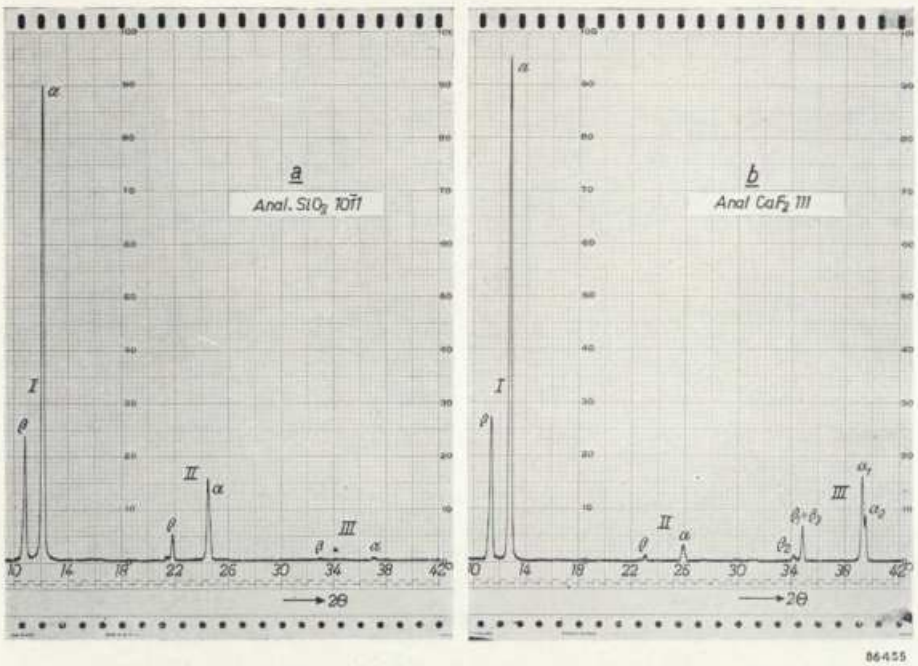



Fig. 17. K-spectrum van molybdenium, opgewekt door röntgenstraling van een wolfraamtrefplaat en gereflecteerd door twee verschillende kristallen. *a*) Kwarts, evenwijdig aan $10\bar{1}1$ gesneden; *b*) fluoriet, splijtingsvlak 111. De reflecties van de eerste, tweede en derde orde, die de kristallen leveren, zijn met Romeinse cijfers aangeduid. (Het L-spectrum van de primaire W-straling was door een nikkelfilter vóór de röntgenbuis verwijderd.)

Aan de andere kant zal een kleine *d*-waarde een bovenste grens stellen aan het te onderzoeken golflengtegebied, aangezien bij $\lambda = 2d$ de hoek $2\Theta = 180°$ wordt. De $\lambda$-grens ligt in feite zelfs nog beneden $2d$, omdat de reflectiehoek op de goniometer niet tot 180° kan doorlopen maar door mechanische beperkingen slechts tot ca. 150°. Voor langere golven zal men dus een grotere *d*-waarde moeten kiezen.

Een laatste belangrijke eis betreft de reflecties van hogere orde die een kristal geeft. De tweede-ordereflectie van een straling met golflengte $\lambda/2$ en de derde-orde van $\lambda/3$ treden bij dezelfde hoek $2\Theta$ op als de eerste-ordereflectie van $\lambda$. Hierdoor kunnen lijnen die van verschillende elementen afkomstig zijn, over elkaar vallen; ook krijgt men een kleinere verhouding van top tot achtergrond, indien een sterk continuum door het fluorescerende preparaat wordt verstrooid. Voor deze gevallen is het wenselijk een kristal te kiezen waarbij de tweede-ordereflectie zeer zwak of afwezig is. Hiervoor kan men bijv. silicium of fluoriet nemen, beide evenwijdig aan het 111-vlak afgesneden. Beide kristallen hebben een derde-ordereflectie waarvan de sterkte ongeveer $^1/_{10}$ is van die van de eerste orde. *Fig. 17* toont twee spectra, verkregen met kristallen waarvan de hogere-ordereflecties verschillende relatieve sterkte hebben.

In *tabel II* zijn de gegevens van enige kristallen bijeengebracht die vaak voor spectrochemische analyse met röntgenstralen worden gebruikt.

*Preparaten*

Bij de bespreking van de röntgenoptische opstellingen werd reeds vermeld dat een grote oppervlakte van het fluorescerende preparaat wenselijk is om in de opstelling met een vlak analyserend kristal grote gereflecteerde intensiteiten te krijgen. Deze opstelling kan echter ook worden gebruikt voor kleinere preparaten, tot enkele mm doorsnede. In dit geval moet men de primaire röntgenstralenbundel tot de werkelijke grootte van het preparaat afschermen,

**Tabel II.** Enkele analysatorkristallen voor spectrochemische analyse met röntgenstralen. De eerste vier kristallen worden het meest gebruikt. Bij de kristalvlakken gemerkt met * is de tweede-ordereflectie zwak of niet aanwezig.

| Kristal | Reflecterend roostervlak (*hkl*) | Roostervlakkenafstand *d* in Å | Reflectiehoek $2\Theta$ voor CuK$\alpha$-straling | Relatieve intensiteit |
|---|---|---|---|---|
| LiF | 200 | 2,01 | 45,1° | sterk |
| $SiO_2$(kwarts) | $10\bar{1}1$ | 3,343 | 26,7 | sterk |
| NaCl | 200 | 2,820 | 31,7 | sterk |
| $CaF_2$ | 111* | 3,16 | 28,2 | sterk |
| Al | 111 | 2,338 | 38,5 | sterk |
| ,, | 200 | 2,026 | 44,8 | middelmatig |
| $SiO_2$(kwarts) | $10\bar{1}0$ | 4,255 | 20,9 | middelmatig |
| ,, | $20\bar{2}3$ | 1,375 | 68,2 | zwak |
| ,, | $50\bar{5}2$ | 0,812 | 143,5 | zwak |
| Si | 111* | 3,135 | 28,5 | sterk |
| Mica | 002 | 9,96 | 8,9 | zwak |

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



om te vermijden dat in de nabijheid van de preparaathouder te veel verstrooide straling optreedt. Heeft men slechts zeer geringe hoeveelheden van de te onderzoeken stof, bijv. enkele milligrammen, dan moet men eventueel overgaan tot de opstelling met focusserend kristal (fig. 15). De stof kan dan op een dunne glasvezel worden aangebracht, die men op de focusseringscirkel monteert (of, beter gezegd, op de „focusseringscilinder").

Zijn grote hoeveelheden beschikbaar, dan hangt het van de aard van de stof af hoe men het preparaat zal maken. Men kan vloeistoffen onderzoeken of poeders of vaste stoffen, zoals mineralen of metalen of dunne laagjes. Het preparaatoppervlak moet vlak en schoon zijn, en de verdeling van de bestanddelen hierin moet overeenkomen met de samenstelling van het gehele monster. Metalen moet men zorgvuldig polijsten en etsen, om te vermijden dat een component over een andere heen gesmeerd wordt. Maakt men een preparaat door een gesmolten metaal uit te gieten, dan moet men erop letten dat de onderlaag geen verontreiniging veroorzaakt. Bij vloeibare preparaten moet men de verdamping beletten, bijv. door een voor röntgenstralen doorzichtig deksel op het vat te plaatsen. Bij een poedervormig mengsel is een gelijkmatige deeltjesgrootte wenselijk, om de fouten te beperken die door verschillen in de absorptie van de fluorescentiestraling door de deeltjes kunnen ontstaan. Men kan ook het gehele effect van de wederkerige absorptie door de deeltjes beperken door het poeder in een hydraulische pers tot een vlakke massieve plaat te persen [14]).

De laatstgenoemde factor, nl. de verzwakking der fluorescentiestraling door absorptie binnen het preparaat, is heel algemeen van belang voor de analyse. Door dit effect en het bijkomstige dat fluorescentiestraling die door een element wordt uitgezonden, kan bijdragen tot het opwekken van fluorescentie in een ander element, is het verband tussen de gemeten fluorescentie-intensiteit en de concentratie van het element in het preparaat niet lineair. Bij semi-kwantitatieve analyse is het eenvoudig deze effecten ruwweg in rekening te brengen; men kan zelfs zeggen dat geen enkele andere methode zo geschikt is om in zo korte tijd een benaderende analyse van ver uiteenlopende samenstellingen te geven. Voor een nauwkeurige kwantitatieve analyse echter zal men de absolute metingen door een berekening van de genoemde effecten moeten corrigeren. Behalve in de eenvoudigste gevallen is dit zeer moeilijk uit te voeren [15]). De gebruikelijke methode voor een nauwkeurige kwantitatieve analyse is derhalve, evenals in de optische spectrochemische analyse, de gemeten intensiteiten te vergelijken met die van een reeks standaardpreparaten, dat zijn preparaten met bekende samenstellingen in verschillende gebieden van concentraties. Met zulke standaarden kan men ijkkrommen opnemen, die de fluorescentie-intensiteit als functie van de concentratie van ieder bestanddeel geven. Deze krommen zijn alleen bij combinaties van elementen met vrijwel gelijke absorptie ongeveer lineair. Hoe groter de verschillen in absorptie, des te dichter moeten de standaarden in samenstelling bij elkaar liggen. Bij sommige analysen gebruikt men ook interne standaarden, dwz. men voegt bekende hoeveelheden van een element aan een preparaat toe [16]).

**Prestaties en beperkingen van de methode**

De nauwkeurigheid van de op deze wijze bepaalde concentraties zal niet alleen afhangen van de wijze waarop het preparaat is gemaakt en van de ijkkrommen, maar ook van de stabiliteit van de röntgenstralenbron en van de statistische fluctuaties die bij de intensiteitsmetingen optreden. Voor een goede nauwkeurigheid moet een groot aantal quanta worden vergaard (deze factor en de „telstrategie" zijn enigszins uitvoerig in [5]) besproken). Bij de grootste preparaten voor de methode met een vlak kristal (fig. 13) leveren de hoofdbestanddelen gewoonlijk een zo grote röntgenintensiteit dat men bij het meten van een lijn in één minuut het aantal quanta verkrijgt dat nodig is voor een nauwkeurigheid van 1% of beter. De onderste grens voor de met de methode te bepalen concentraties wordt gesteld door de verhouding van topintensiteit tot achtergrond; uit de voorafgaande hoofdstukken zal wel duidelijk geworden zijn dat deze verhouding sterk kan uiteenlopen. Vergroot men de verhouding van top tot achtergrond door voorafgaande extractie langs natte chemische of langs fysische weg, dan kan men met behoorlijke nauwkeurigheid componenten met concentraties beneden $10^{-3}$ % bepalen. Er zijn gevallen bekend waarin men met succes componenten heeft geanalyseerd in concentraties van enige malen $10^{-4}$ %, en met de focusserende opstelling volgens fig. 15 heeft men enkele microgrammen

[14]) Enige effecten van de absorptie en de deeltjesgrootte van poeders worden besproken door P. M. de Wolff, deel F van „X-ray crystallography", onder redactie van J. Bouman, Noordhollandse Uitg. Mij., Amsterdam 1951.

[15]) Zie bijv. J. Sherman, Amer. Soc. Testing Materials, Special tech. Publ. No. 157, Philadelphia 1954.

[16]) I. Adler en J.M. Axelrod, Spectrochim. Acta 7, 91-99, 1955 (No. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



van een element kunnen bepalen in preparaten van enige milligrammen, waarbij de standaardafwijkingen slechts van de orde van 10-15% waren.

Voor een beoordeling van de waarde van de spectrochemische analyse met röntgenstralen is het van belang deze te vergelijken met de optische spectrochemische analyse. Natuurlijk zullen bij een dergelijke vergelijking voor ieder analytisch probleem waarbij men tussen beide methodes kan kiezen, verschillende gezichtspunten op de voorgrond treden. In het algemeen kan men zeggen dat de röntgenmethode niet met de optische kan concurreren wanneer het gaat om de analyse van sporen van elementen; de optische methode is dan soms nog bruikbaar tot concentraties van $10^{-5}$ %. Aan de andere kant is de optische methode misschien minder gevoelig voor concentratieverschillen in een hoofdbestanddeel van een mengsel, welke verschillen men juist zeer gemakkelijk kan meten met de röntgenmethode. Een ander gezichtspunt is de verscheidenheid van elementen waarvoor men de methodes kan toepassen: de optische methode is algemeen bruikbaar voor ongeveer 65 of 70 elementen die over het gehele periodieke systeem verspreid liggen; ze kan niet zonder meer worden toegepast op electronegatieve elementen, zoals de halogenen, zwavel enz., die spectra in het verre ultraviolet hebben. De röntgenmethode is nuttig voor alle elementen met atoomnummer boven ongeveer 13; om redenen die hieronder worden besproken, kan ze thans nog niet voor het eerste gedeelte van het periodieke systeem worden toegepast. Algemene voordelen van de röntgenmethode zijn, dat deze niet-destructief is en dat hiermee alle soorten preparaten kunnen worden onderzocht. Men kan met kristallijne evengoed als met amorfe materialen werken, en de preparaten kunnen in de vloeibare of in de vaste toestand zijn. Zij kunnen in poedervorm of als glas of als metaal gegeven zijn, de bestanddelen kunnen gedispergeerd of opgelost zijn. In dit opzicht is men vrijer dan bij de optische methode, waar aan het preparaat enige beperkingen zijn opgelegd. Wat betreft de mogelijkheden van de methodes is het ten slotte interessant de manieren te vergelijken waarop men spectra behandelt die gedeeltelijk over elkaar vallen. In het optische geval kan men dit probleem alleen aanpakken door een grote dispersie toe te passen, en met het oog op het gecompliceerde karakter van de meeste optische spectra kan het dan nodig zijn traliespectrografen van zeer grote lengte te gebruiken. In het röntgengeval komt het over elkaar vallen van de spectra in veel mindere mate voor, daar deze veel eenvoudiger zijn, en bovendien heeft men voor de scheiding van naburige lijnen behalve een vergrote dispersie nog een hele reeks andere methodes ter beschikking. Deze methodes, die op zichzelf een interessant inzicht geven in de verscheidenheid van fysische verschijnselen die bij de röntgenspectroscopie worden toegepast, worden in het Aanhangsel van dit artikel besproken.

De spectrochemische analyse met röntgenstralen vindt haar voornaamste beperkingen in het opwekken en analyseren van straling met zeer lange of zeer korte golven. Resumerende en completerende wat reeds hierover is gezegd, kan men constateren dat de röntgenfluorescentiemethode bruikbaar is voor alle elementen in het periodieke systeem van ongeveer Al (atoomnummer 13) tot U (92). Men werkt het gemakkelijkst en met de eenvoudigste apparatuur in het golflengtegebied tussen ongeveer 2,3 en 0,3 Å, waarin de K-spectra van Mn (25) tot Nd (60) en de L-spectra van Sm (62) tot U (92) vallen (zie *tabel III*).

Voor de elementen 61 tot 92 zou men ook graag met de K-spectra werken, die eenvoudiger zijn dan de L-spectra, doch dit is thans niet mogelijk, aangezien voor hun aanslag hoge spanningen op de röntgenbuis nodig zijn (50 kV tot 125 kV), waarvoor de beschikbare röntgengeneratoren niet zijn inge-

**Tabel III.** Instrumentele gegevens voor de diverse golflengtegebieden.

| Golflengtegebied Å | Laagste aanslagspanning kV | Elementen (met atoomnummers) | Spectra | Stralengang | Roostervlakkenafstand van analysator | Detector |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9-2,3 | 1,4-5,3 | Al(13)-Cr(24)<br>Se(34)-Pm(61)<br>Tu(69)-U(92) | K<br>L<br>M | Helium, of vacuum met dunne vensters | $d$ = 4,3 Å, reflecteert K$\alpha$ van Al bij 150° | Prop. teller met dun venster; scint. teller |
| 2,3-0,3 | 5,3-41 | Mn(25)-Nd(60)<br>Sm(62)-U(92) | K<br>L | Lucht | $d$ = 1,5 Å, reflecteert K$\alpha$ van Ba bij 15° | Scint. teller; prop. en geigerteller boven 1 Å |
| 0,3-0,1 | 41-123 | Pm(61)-U(92) | K | Lucht | $d$ = 1,5 Å, reflecteert K$\alpha$ van U bij 4,9° | Scintillatieteller |

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



richt. Bovendien zou het probleem van de bescherming van de gebruiker tegen de röntgenstraling veel meer moeilijkheden opleveren dan bij spanningen beneden 50 kV. Ten slotte nog zouden zelfs bij de kleinste *d*-waarden van het analyserende kristal die men kan kiezen, de reflectiehoeken zeer klein worden (zie tabel III).

Voor de elementen Al (13) tot Cr (24) moet men de K-spectra gebruiken, die tussen ongeveer 9,0 en 2,3 Å liggen. Straling in dit golflengtegebied (waarin ook enkele L-spectra en M-spectra van elementen van hoger atoomnummer vallen) wordt sterk in lucht geabsorbeerd, zodat men is aangewezen op de bovenomschreven techniek met een stralengang in helium of in vacuum.

De K-spectra van elementen met atoomnummer beneden 13 liggen in het ultrazachte röntgengebied, dat op het ogenblik niet goed toegankelijk is. Jammer genoeg behoren tot deze groep elementen ook koolstof, stikstof en zuurstof, die voor organisch-chemische en biologische problemen zo belangrijk zijn.

**Toepassingsvoorbeelden voor de spectrochemische analyse met röntgenstralen**

Het is onmogelijk hier de talrijke analytisch-chemische en algemeen-technische problemen op te sommen waarvoor de methode reeds goede diensten heeft bewezen. Men heeft de methode toegepast voor een bonte reeks van metallurgische problemen, bijv. voor de analyse van staalsoorten en van eenvoudige en gecompliceerde legeringen; in de mineralogie voor de analyse van ertsen, mineralen en tussenproducten bij de zuivering; in de petroleumindustrie voor de analyse van zwavel in olie en van broom in vloeibare koolwaterstoffen. Wij willen hier slechts enkele typische voorbeelden vermelden.

Birks en anderen pasten in 1950 de röntgenfluorescentiemethode toe op de kwantitatieve bepaling van tetraethyl-lood en ethyleenbromide in vliegtuigbenzine [17]). Bij een monster dat ongeveer 1 ml tetraethyl-lood per liter bevatte, leverde een telling van de L$\alpha$-lijn van Pb gedurende één minuut het tetraethyl-loodgehalte met een waarschijnlijke fout van $\pm$ 0,02 ml per liter. Evenzo leverde bij een concentratie van 0,5 ml per liter een telling gedurende een minuut van de K$\alpha$-lijn van Br het ethyleenbromidegehalte met een waarschijnlijke fout van $\pm$ 0,04 ml per liter. Op deze wijze was het mogelijk per uur 10 tot 20 bepalingen van zowel Pb als Br te maken, zonder enig preparatief werk aan de vloeistof en met dezelfde nauwkeurigheid als die van de gebruikelijke chemische methodes [18]). Met de in de laatste tijd ontwikkelde werkwijzen en met nieuwe röntgenbuizen en detectoren zou men in minder tijd zelfs een nog betere nauwkeurigheid kunnen verkrijgen. Omdat de methode zo snel, nauwkeurig en eenvoudig werkt, wordt zij nu in grote omvang toegepast voor controle van de fabricage.

Kleine hoeveelheden Ni, Fe en V hebben een funeste invloed op katalysatoren voor het kraakproces. Normale chemische en spectraalanalytische methodes bleken niet voldoende nauwkeurig te zijn om tussen goede en slechte katalysatoren te kunnen onderscheiden. Voor de bepaling van deze verontreinigingen in katalysatoren van siliciumoxyde-aluminiumoxyde hebben Dyroff en Skiba [19]) een röntgenfluorescentiemethode ontwikkeld die voor een volledige analyse van monsters van slechts 2 gram ongeveer 15 minuten vergt. Voor Fe in concentraties van 0,1 tot 1,0 gew.% bereikten zij een nauwkeurigheid van 3%, en voor Ni en V in concentraties van 0,002 tot 0,10 gew.% een nauwkeurigheid van 0,002% (absoluut).

Davis en Van Nordstrand [20]) gebruikten de fluorescentiemethode voor een snelle en nauwkeurige controle van de menging van smeerolies. Zij konden Ba en Ca in concentraties van ongeveer 0,05% met een nauwkeurigheid van 2% tot 3% bepalen en Zn in concentraties van meer dan 0,005% met een nauwkeurigheid van 1% tot 2%. Ten gevolge van de bovenvermelde absorptie-effecten [14]) was het nodig voor Zn ijkkrommen bij verschillende Ba-concentraties op te nemen. Voor de analyse van elk element waren 3 tot 12 minuten nodig; dit is slechts een fractie van de tijd die men met normale chemische methodes nodig heeft, terwijl deze toch geen betere nauwkeurigheid geven.

De röntgenfluorescentieanalyse is een betrouwbare methode gebleken om het Nb- en het Ta-gehalte van ertsen te bepalen en om de toeneming van de concentraties bij de afscheidingsprocessen van dergelijke ertsen te volgen [21]). Een ervaren scheikundige heeft 5 tot 15 dagen nodig om een chemische analyse van deze elementen klaar te krijgen, terwijl men met de röntgenmethode met ongeveer dezelfde nauwkeurigheid 10 tot 50 monsters per dag kan analyseren.

---

[17]) Anal. Chem. **22**, 1258-1261, 1950.

[18]) In tegenstelling met een analyse op grond van de verschillen in röntgenabsorptie, hebben andere bijmengsels en verontreinigingen, zoals gebleken is, weinig invloed op de nauwkeurigheid van de metingen; zie Anal. Chem. **22**, 1238-1248 en 1248-1258, 1950.

[19]) Anal. Chem. **26**, 1774-1778, 1954 (No. 11).

[20]) Anal. Chem. **26**, 973-977, 1954 (No. 6).

[21]) Anal. Chem. **26**, 800-805, 1954 (No. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Men heeft de methode ook practisch toegepast voor kleine monsters, voor sporenanalyse en voor gedispergeerde systemen. Dunne opgedampte laagjes van Ni, Fe en Cr (ter dikte van ca. 100 Å, wat met oppervlaktedichtheden van 1 tot $25 \times 10^{-6}$ g/cm² overeenkomt) zijn door Rhodin [22]) geanalyseerd met een nauwkeurigheid van 2% of beter; de resultaten klopten uitstekend met die van microcolorimetrische methodes.

Wij hebben hier slechts enkele toepassingen van de methode vermeld. In de laatste jaargangen van Analytical Chemistry (1950 e.v.) zal de lezer publicaties over vele speciale toepassingen vinden.

Fig. 18. De „Norelco Autrometer", ontwikkeld voor automatische spectrochemische analyse met röntgenstralen ten dienste van de fabricagecontrole. Links röntgenapparatuur, rechts de electronische apparatuur.

Werpen wij tot besluit van dit artikel een blik in de toekomst van de spectrochemische analyse met röntgenstralen, dan kunnen wij duidelijk een drievoudige ontwikkeling onderkennen: een uitbreiding van de toepassing binnen de golflengtegebieden van 0,3 tot 2,3 en van 2,3 tot 9 Å, waar nog meer analytische problemen kunnen worden aangepakt; een mogelijke uitbreiding tot golflengten groter dan 9 Å, waar de instrumentele moeilijkheden zeer groot worden, maar welk golflengtegebied wegens het belang van de daar voorkomende elementen voor de organische en de biochemie zeer veel belooft; ten slotte een intensiever gebruik van de methode voor routinewerk in speciale gevallen. De methode kan namelijk ook in hoge mate geautomatiseerd worden, zoals reeds door de constructie van verschillende volledig automatisch werkende instrumenten is aangetoond. Een van deze apparaten, de „Autrometer" van de North American Philips Company, is in *fig. 18* afgebeeld. In dit apparaat worden het analysatorkristal en de detector, die volgens fig. 13 zijn opgesteld, automatisch in een aantal van te voren vastgestelde hoekposities gebracht en de bijbehorende röntgenintensiteiten worden geregistreerd. Heeft men zulk een apparaat eenmaal geijkt, dan is het werken ermee eenvoudig en nemen de analysen weinig tijd in beslag, zodat men hiermee over een zeer doeltreffende oplossing voor problemen van de industriële fabricagecontrole beschikt.

[22]) The Pittsburgh Conf. Anal. Chem. and Appl. Spect., 1955 (abstract).

**Aanhangsel: Werkwijzen voor over elkaar vallende spectraallijnen**

*Tabel IV* vermeldt enkele gevallen van dicht bij elkaar gelegen röntgenspectraallijnen. Hoe men in zulke gevallen te werk kan gaan, wordt hier toegelicht aan het voorbeeld van niobium en wolfraam.

In *fig. 19a* zijn de eerste-ordereflecties weergegeven van de K$\alpha$-lijn van Nb en de L$\alpha$-lijn van W, verkregen met een vlak analyserend kwartskristal ($10\bar{1}1$-vlak, $d = 3{,}34$ Å) en bij gebruik van een spleetraster met hoekopening 0,58°. De tweede-ordereflectie van K$\alpha$ van Nb ligt rechts op de staart van de L$\alpha$-lijn van W, waardoor een directe vergelijking van de relatieve lijnintensiteiten van Nb en W onmogelijk wordt.

**Tabel IV.** Gevallen van dicht bij elkaar gelegen spectraallijnen. De Romeinse cijfers geven de orde van de reflectie aan.

| Geval | Voorbeelden (met golflengten in Å) |
|---|---|
| Elementen met naburige atoomnummers | Mn(25)K$\alpha_1$ 2,103 / Cr(24) K$\beta_1$ 2,085 |
| | Rh(45)L$\beta_1$ 4,374 / Pd(46) L$\alpha_1$ 4,368 |
| K-spectrum bij laag atoomnummer valt op L-spectrum bij hoog atoomnummer | Zn(30) K$\alpha_1$ 1,435 / Re(75) L$\alpha_1$ 1,433 |
| | Sc(21) K$\beta_1$ 2,780 / Ba(56) L$\alpha_1$ 2,776 |
| K-spectrum van hogere orde bij hoog atoomnummer valt op K-spectrum bij laag atoomnummer | Ni(28) K$\beta_1$ 1,500(I) / Nb(41)K$\alpha_1$ 1,494(II) |
| | Mo(42)K$\alpha_1$ 2,127(III) / As(33) K$\alpha_1$ 2,114(II) |
| K-spectrum van hogere orde valt op L-spectrum | Ag(47) K$\alpha_1$ 1,677(III) / Yb(70) L$\alpha_1$ 1,672(I) |
| | Nb(41)K$\alpha_1$ 1,494(II) / W(74) L$\alpha_1$ 1,476(I) |

Verbeteren wij het scheidend vermogen van het toestel door de opening van het spleetraster tot 0,15° terug te brengen, dan krijgen wij het in fig. 19*b* weergegeven lijnprofiel. De tweede-ordereflectie van K$\alpha$ van Nb is nu als een lichte knik aan de rechteronderkant van de L$\alpha$-lijn van W zichtbaar, maar een scheiding is nog niet verkregen.

Vervangen wij nu het kwartskristal door een LiF-kristal waarvan wij het splijtvlak gebruiken (200-vlak, $d = 2{,}01$ Å), dan worden door de grotere hoekdispersie de K$\alpha_1\alpha_2$-lijnen van Nb in de tweede orde gescheiden van de L$\alpha$-lijn van W, fig. 19*c*;

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



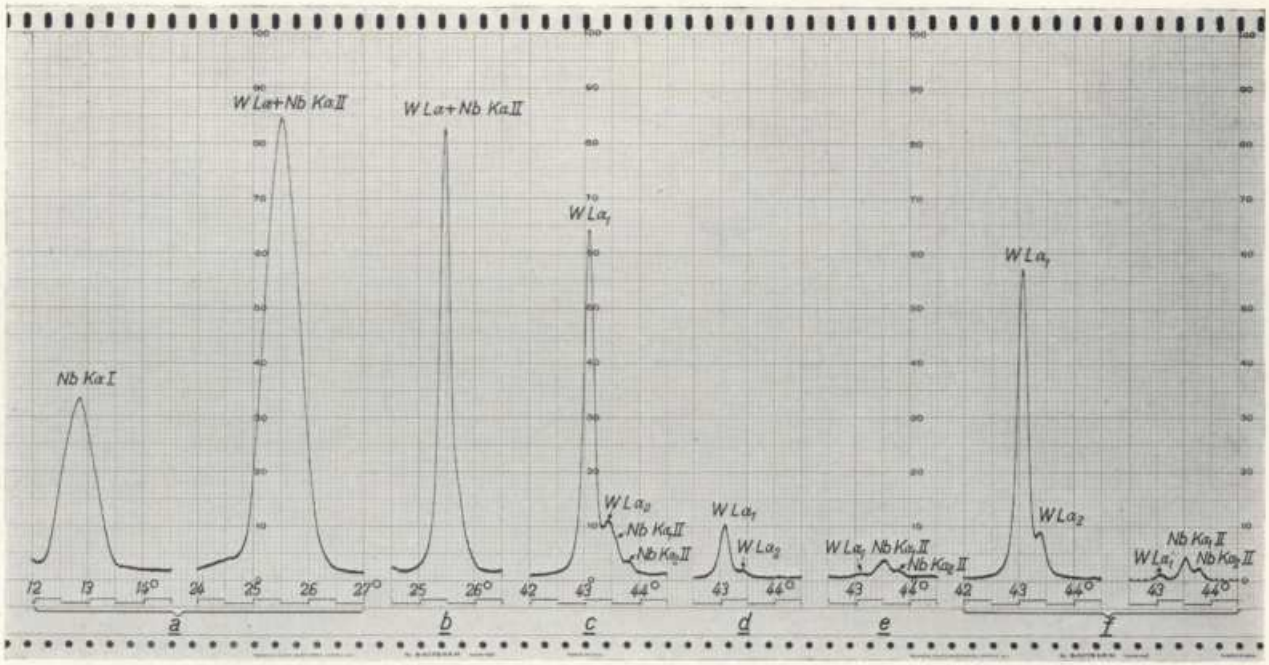



Fig. 19. Verschillende methodes voor het onderscheiden van spectraallijnen die over elkaar vallen. Het preparaat bevatte WC 72%, TiC 10%, NbC 10%, Co 8%; dus ongeveer 67,6% W en 8,9% Nb. Röntgenbuis met wolfraamtrefplaat, 50 kV (top), 45 mA (behalve bij *d*). Intensiteit bij volle uitslag 6400 quanta/sec bij (*a*), en 3200 quanta/sec bij (*b*) tot (*f*). Aftastsnelheid $\frac{1}{2}$°/min, tijdconstante 4 sec, scintillatieteller.

*a*) K*α* van Nb en L*α* van W, gereflecteerd door kwarts 1011 ($d = 3{,}34$ Å) met openingshoek van het spleetraster $2\alpha = 0{,}58°$.
*b*) L*α* van W als in (*a*), maar met $2\alpha = 0{,}15°$.
*c*) L*α* van W en K*α* van Nb, tweede-ordereflectie van LiF 200 ($d = 2{,}01$ Å), met $2\alpha = 0{,}15°$.
*d*) Als (*c*), doch met röntgenbuisspanning 20 kV, buisstroom 33 mA.
*e*) Als (*c*), doch met een nikkelfilter van ongeveer 0,02 mm dik tussen preparaat en kristal.
*f*) Als (*c*), doch met impulshoogtediscriminatie, eerst ingesteld op L*α* van W, dan op K*α* van Nb; de W-lijn is hier bijna, maar niet volledig, uitgeschakeld.

hoewel de lijnen nog steeds enigszins over elkaar vallen, is nu een redelijk nauwkeurige bepaling van de relatieve intensiteiten mogelijk.

De vergroting van het scheidend vermogen en de dispersie is ook in de optische spectrochemische analyse een bekende kunstgreep, hoewel het daar wat de instrumenten betreft meer moeite kost hem in praktijk te brengen dan bij de röntgenmethode. De nu volgende werkwijzen, om het probleem van over elkaar vallende lijnen op te lossen, zijn alleen in het röntgengeval mogelijk.

Een belangrijke mogelijkheid bestaat daarin, de aanslag van de K-straling van Nb geheel te vermijden door de spanning op de röntgenbuis te verlagen: de aanslagspanning van K*α* van Nb is ongeveer 20 kV, terwijl de L*α*-lijn van W reeds bij 9 kV optreedt. In fig. 19*d* is te zien wat men aldus kan bereiken. Doordat de röntgenbuis op dubbelzijdig gelijkgerichte spanning werkte (verg. fig. 10) en de buisstroom beperkt was, bracht de verlaging van de spanning een vermindering van de intensiteit van de L*α*-lijn van W met een factor 8 mee.

In sommige gevallen kan men één der over elkaar vallende lijnen elimineren door een selectief filter vóór de röntgendetector te plaatsen. Men maakt daarbij gebruik van het feit dat de absorptiekanten van de elementen bij golflengten liggen die, evenals die van de emissielijnen, systematisch met het atoomnummer verlopen. Men zal derhalve in vele gevallen een element met een zodanige absorptiekant kunnen vinden dat één spectraallijn van het preparaat veel sterker wordt geabsorbeerd dan een andere dichtbij gelegen spectraallijn. Voor het preparaat van Nb + W kan men een nikkelfilter gebruiken: de K-absorptiekant van het nikkel ligt bij 1,48 Å, zodat de L*α*-straling van W (ongeveer 1,43 Å) sterk wordt geabsorbeerd, terwijl de hardere K-straling van Nb vrijwel niet wordt verzwakt. Met een nikkelfilter van ongeveer 0,02 mm dik kan men aldus de W-lijn bijna volledig verwijderen, terwijl de Nb-lijnen slechts ongeveer een factor 2 zwakker worden; zie fig. 19*e*.

De laatste en effectiefste oplossing van het probleem van over elkaar vallende lijnen is de methode van de impulshoogte-discriminatie. Zij berust daarop dat de impulshoogte die door een geabsorbeerd röntgenquantum in een proportionele of scintillatieteller wordt veroorzaakt, evenredig is met de quantumenergie, behoudens een zekere spreiding, waardoor de detector een eindig „energetisch scheidend vermogen" heeft. Is het golflengteverschil van twee over elkaar vallende lijnen groter dan overeenkomt met dit energetisch scheidend vermogen, dan kunnen de lijnen door analyse van de impulshoogte worden gescheiden. Dit wordt geïllustreerd door de twee profielen van fig. 19*f*: bij het linkerprofiel was de impulshoogte-analysator op de L-straling van W ingesteld en men ziet dat men de $L\alpha_1\alpha_2$-lijnen krijgt, terwijl geen Nb-straling wordt geregistreerd; bij het rechterprofiel was de analysator ingesteld op de K*α*-straling van Nb — in dit geval krijgt men slechts zeer weinig L-straling van W. Deze methode veroorlooft niet alleen een volledige scheiding, maar zij geeft ook de grootste intensiteiten voor beide lijnen en is zeer gemakkelijk in de uitvoering.

De laatstgenoemde drie methodes — waarvan wij zeiden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



dat zij alleen voor het röntgengeval in aanmerking komen — kunnen ook worden toegepast voor het geval dat het gehele spectrum „op elkaar valt", dwz. als men in het geheel geen dispersie van de spectraallijnen toepast [23]). Aangezien de detector dan in de onmiddellijke nabijheid van het preparaat kan worden opgesteld, zijn de intensiteiten enorm veel groter dan bij de analyse met dispersie (dwz. met diffractie); aan de andere kant echter is het hierbij onmogelijk verstrooide straling te elimineren, zodat de achtergrond van de gemeten intensiteiten relatief sterk wordt. Een analyse zonder dispersie is derhalve beperkt tot preparaten die slechts enkele bestanddelen bevatten, welke in niet te kleine concentraties aanwezig moeten zijn.

[23]) A. R. Lang, Wavelength resolution of X-ray proportional counters, Proc. Phys. Soc. **A65**, 372-373, 1952; C. F. Hendee en S. Fine, Moseley's law applied to proportional counter resolution of adjacent elements, Phys. Rev. **95**, 281-282, 1954 (1 juli).

**Samenvatting.** Bij de spectrochemische analyse met röntgenstralen identificeert men elementen en bepaalt men hun concentraties door meting van de golflengten en intensiteiten van hun karakteristieke röntgenspectra. Deze methode, die in principe verwant is met de bekende optische spectrochemische analyse, heeft verschillende belangrijke voordelen: zij is niet-destructief; zij kan voetstoots worden toegepast op alle soorten preparaten, in vaste, poedervormige, of vloeibare, kristallijne of amorfe vorm; de röntgenspectra zijn zeer eenvoudig, het komt niet veel voor dat lijnen van verschillende elementen over elkaar vallen, en waar dit al voorkomt, zijn er een reeks werkwijzen om de lijnen te scheiden of afzonderlijk te meten. Het werken met de apparatuur die voor deze analysemethode is ontwikkeld, is vrij eenvoudig, zodat het zeer wel denkbaar is dat in de toekomst de spectrochemische analyse met röntgenstralen even uitgebreide toepassing voor routineanalysen zal vinden als de optische methode.

De röntgenspectra worden gewoonlijk aangeslagen door fluorescentie, die men opwekt door de continue of karakteristieke straling van een röntgenbuis met wolfraam of een ander materiaal als trefplaat. Een aantal details betreffende de primaire trefplaat, de hoogte en het tijdsverloop van de spanning op de röntgenbuis en de aard van het fluorescerende preparaat worden in dit artikel besproken. De röntgenspectra worden geanalyseerd door middel van diffractie aan een eenkristal; voor het meten van de gereflecteerde straling kan men een geigerteller, een proportionele teller of een scintillatieteller gebruiken. De apparatuur lijkt daardoor sterk op die welke voor röntgendiffractometrie wordt gebruikt. De röntgenoptische opstelling voor de fluorescentieanalyse en de meest gewenste eigenschappen van het analysatorkristal en van de preparaten en standaarden worden eveneens besproken.

Met de methode kan bij redelijk korte meettijd een behoorlijke nauwkeurigheid worden verkregen. Kwantitatieve analysen met fouten van 1% of minder kunnen vaak in enkele minuten worden uitgevoerd. In sommige gevallen heeft men bijmengsels in concentraties van $10^{-3}$ % of minder kunnen bepalen. Met speciale focusserende opstellingen kan men metingen doen aan monsters van enkele milligrammen. De methode kan worden toegepast voor alle elementen met atoomnummer tussen 13 (aluminium) en 92 (uranium); met een 50 kV-röntgenbuis kan de K-straling van de elementen 13 tot 60 en de L-straling van de elementen 60 tot 92 worden aangeslagen. Voor de elementen 13 tot 24 liggen de K-spectra tussen ongeveer 9 en 2,3 Å; voor deze zeer zachte röntgenstralen moet men wegens de absorptie in lucht speciale werkwijzen toepassen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# HET FREQUENTIEMODULATIEGEDEELTE VAN MODERNE OMROEPONTVANGERS

## I. SCHAKELINGEN EN MECHANISCHE UITVOERING

door H. de QUANT en P. ZIJP.

## II. DE INGEBOUWDE FM-ANTENNE

door M. HUISSOON.

621.396.621:621.376.3

*Wat in het begintijdperk van de radio-omroep wellicht het meest tot de verbeelding van het publiek sprak, was de mogelijkheid rechtstreeks uitzendingen uit ver verwijderde landen te ontvangen. Geleidelijk is dit anders geworden. Zoals enquêtes hebben uitgewezen, doet de tegenwoordige luisteraar in overgrote meerderheid zijn keus uit nog slechts een stuk of wat zenders (in hoofdzaak binnenlandse) waarbij hij van goede ontvangst verzekerd kan zijn. Meer en meer is hij dus van de romantische maar wisselvallige genoegens van langeafstandsontvangst gaan afzien, en gaan prijs stellen op betrouwbare ontvangst van goede kwaliteit.*

*Geheel in dit kader past het tegenwoordige streven, voor de omroep gebruik te maken van frequentiemodulatie. Gebonden als dit systeem is aan zeer korte golven (metergolven of kortere), waarvan de dracht nu eenmaal beperkt is, moet men bij frequentiemodulatie geheel afzien van ontvangst over lange afstanden, maar daar staan belangrijke voordelen tegenover: de verhouding van signaal tot ruis en andere storingen is veel gunstiger, en, vergeleken met de meeste omroepzenders op lange en middengolven, is het geluidsspectrum veel uitgebreider.*

*In bijna alle Europese landen is tegenwoordig, behalve de amplitudemodulatieomroep op lange, midden- en korte golven, een frequentiemodulatieomroep op zeer korte golven in werking. Dienovereenkomstig zijn de meeste moderne omroepontvangers in Europa (met uitzondering nog slechts van die in de laagste prijsklasse) voor beide systemen ingericht.*

Veelal wordt aangenomen dat het snel veld winnen van de omroep met frequentiemodulatie (FM-omroep) te danken is aan het feit dat bij deze modulatiemethode het audiospectrum zich uitstrekt tot ca. 15 000 Hz, dus veel verder dan dat van de meeste omroepzenders die met amplitudemodulatie (AM) werken. Dit is tot op zekere hoogte waar indien men FM-omroep vergelijkt met AM-omroep op lange of middengolven, waar het grote aantal zenders veelal heeft genoopt tot een drastische beperking van de bandbreedte en daarmee van het audiospectrum [1]). Deze beperking zou echter kunnen vervallen indien men de draaggolflengte van een AM-zender koos in het gebied van de metergolven (zoals men ook heeft gedaan voor het geluidskanaal van de televisie in Engeland, Frankrijk en België); een verschil in geluidskwaliteit tussen AM- en FM-ontvangst behoeft er dan niet meer te zijn.

Dat men niettemin voor een omroepsysteem met zeer goede geluidskwaliteit in de regel toch de voorkeur geeft aan FM, heeft in hoofdzaak de twee volgende redenen:

1) Bij FM is de informatie besloten in de frequentievariaties van de draaggolf. In principe kunnen alle storingen die amplitudevariaties veroorzaken, worden afgesneden en zijn dus alleen storingen die de genoemde frequentievariaties aantasten, na detectie in staat aanleiding te geven tot hoorbare storing. Dit resulteert in een verhouding van signaal tot storing die, mits de frequentievariatie groot genoeg is, veel gunstiger is dan bij AM.
2) Het tweede voordeel van FM heeft betrekking op de zender. Bij FM is het uitgezonden vermogen constant, onafhankelijk van de modulatie, terwijl een AM-zender een zodanige reserve moet hebben dat tijdens sterke modulatiepieken tot 4 × het normale vermogen kan worden geleverd, zij het slechts gedurende korte tijd.

Om bij FM de bovengenoemde gunstige verhouding van signaal tot storing te verkrijgen, moet men, zoals Armstrong in 1936 heeft aangetoond, de maximale frequentievariatie (de „frequentiezwaai") veel groter maken dan de hoogste audiofrequentie die men nog wil overbrengen [2]), i.c. 15 000 Hz. Voor de omroep is bij internationale overeenkomst als

[1]) Opgemerkt zij dat sommige AM-zenders, ten behoeve van hen die deze zenders storingsvrij kunnen ontvangen, toch vrij veel hoge tonen uitzenden (tot 10 000 of zelfs 12 000 Hz). Met het oog hierop zijn er ontvangtoestellen in de handel waarvan de bandbreedte dienovereenkomstig groot kan worden gemaakt („lokale ontvangst").

[2]) Zie bij voorbeeld Philips techn. T. **8**, 42-50 en 89-96, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



grootste frequentiezwaai 75 kHz toegestaan. Bij deze zwaai is een bandbreedte van op zijn minst 160 kHz nodig, zodat men voor FM is aangewezen op het gebied van de zeer korte golven. Van de internationaal voor FM-omroep beschikbaar gestelde frequentiegebieden wordt in Europa dat van 87,5 tot 100 MHz gebruikt.

Wil men bij FM ten volle het voordeel van het uitgebreide audiospectrum genieten, dan moet, zoals vanzelf spreekt, het audiofrequentiegedeelte van het toestel, inclusief de luidspreker, frequenties tot 15 000 Hz goed weergeven. Dit is trouwens niet alleen wenselijk voor FM-ontvangst, maar ook voor „lokale ontvangst" van de AM-zenders waarop in noot [1]) werd gedoeld, en voor de weergave van grammofoonplaten. De vraagstukken die betrekking hebben op het laagfrequentiegedeelte van het toestel, blijven in dit artikel onbesproken. Wèl zullen worden behandeld:

I) de eisen die men aan een moderne FM-ontvanger moet stellen en de wijze waarop aan die eisen kan worden voldaan, alsmede enige kwesties die zich voordoen bij het samenbouwen van een AM- en een FM-gedeelte in één toestel, en

II) de in het toestel aangebrachte antenne voor FM-ontvangst.

## I. SCHAKELINGEN EN MECHANISCHE UITVOERING

### Eisen die men aan een FM-ontvanger stelt

Behalve op het laagfrequentiegedeelte, komt het bij een moderne FM-ontvanger voornamelijk aan op de volgende punten: de gevoeligheid, de signaal-ruisverhouding, de signaal-storingsverhouding, de selectiviteit en de straling. Wij zullen deze punten nu achtereenvolgens behandelen.

*Gevoeligheid*

Het ingangssignaal van de laagfrequentieversterker moet — zelfs bij ontvangst van betrekkelijk ver verwijderde zenders — zo sterk zijn dat de sterkteregelaar nimmer in zijn maximumstand behoeft te staan; was dit wèl nodig, dan zou namelijk bij overschakeling op een AM-zender, waarvan in het algemeen de veldsterkte veel groter is, het geluid meestal veel te hard en sterk vervormd worden.

*Signaal-ruisverhouding*

De ontvangstkwaliteit wordt goeddeels bepaald door de signaal-ruisverhouding aan de uitgang van het toestel. Om deze zo groot mogelijk te maken, dient men te streven naar:

1) een zo groot mogelijke verhouding van hoogfrequent (HF) signaal tot ruis aan de ingang van het toestel;
2) een zo groot mogelijke HF-versterking, ten einde de ruis van de mengbuis en de middenfrequentie-(MF-)buizen relatief klein te houden;
3) een zodanige MF-versterking dat het signaal aan het stuurrooster van de laatste MF-buis groot genoeg is om te kunnen worden onderworpen aan begrenzing en daardoor grotendeels te worden ontdaan van ruis, die er als amplitudemodulatie in aanwezig is;
4) verdere begrenzing van het signaal in de detector.

Het onder 3) gezegde leidt tot het gebruik van drie trappen MF-versterking. In combinatie met de grote HF-versterking maakt dit de totale versterking zo groot dat de normale gevoeligheidsaanduiding geen zin meer heeft. Bij AM-ontvangers is men gewoon, als maat voor de gevoeligheid te nemen de antenne-EMK die, bij een bepaalde modulatiediepte, een laagfrequentie-uitgangsvermogen van 50 mW levert. Bij een FM-ontvanger zou men zo een gevoeligheid van bij voorbeeld 0,4 μV vinden, maar bij een zo geringe EMK zou de ruis sterk overheersen. Daarom onderscheidt men, naar gelang van de sterkte van het antennesignaal, drie gevallen wat betreft de signaal-ruisverhouding en verlangt men bij ieder daarvan dat de antenne-EMK een bepaalde waarde niet te boven behoeft te gaan om deze signaal-ruisverhouding te leveren. Tegenwoordig voldoet een FM-ontvanger aan het volgende:

| Signaal-ruis-verhouding dB | Antenne--EMK μV | Ontvangstkwaliteit |
|---|---|---|
| 8-10 | 2 | Met deze geringe kwaliteit neemt men genoegen bij ontvangst van extreem zwakke zenders. |
| 26 | 4 | Kwaliteit bij definitie „goed". |
| 40-60 | 20 | Kwaliteit maximaal. |

*Signaal-storingsverhouding*

FM-ontvangst kan worden gestoord door

1) zenders die met dezelfde centrale frequentie werken als de zender die men wil ontvangen;
2) zenders waarvan de centrale frequentie te weinig verschilt van die welke men wil ontvangen;

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



3) ontvangst langs wegen van verschillende lengte, zoals vooral in bergachtige streken vaak voorkomt;
4) vonken van collector- en verbrandingsmotoren (zelfs bij een zo goed mogelijk ontstoorde motor kan, op een afstand van 10 m, de veldsterkte van de storing nog wel 500 $\mu$V/m bedragen).

Tegen storingen van dit laatste type heeft men bij FM wederom in begrenzing een middel om ze doeltreffend tegen te gaan. In het algemeen verlangt men een verhouding signaal-storing van ten minste 30 dB (bij een modulatie met een frequentiezwaai van 15 kHz). Dit voert, evenals bij de ruisbestrijding, tot het gebruik van drie MF-trappen.

*Selectiviteit*

De centrale frequenties van de Europese FM-zenders liggen in de regel 300 kHz uit elkaar. De selectiviteit moet hierbij ten minste 200 zijn (d.w.z. een spanning 300 kHz buiten afstemming moet 200 maal zo zwak worden doorgegeven als een spanning in afstemming). Deze selectiviteit is practisch slechts te verkrijgen met drie of meer trappen MF-versterking.

*Straling*

Om storing van naburige FM- en televisie-ontvangers te voorkomen, moet men verlangen dat de oscillator van een FM-ontvanger slechts zeer weinig straalt, zowel op de grondfrequentie als op de dubbele frequentie (die in een voor televisie gereserveerd frequentiegebied valt). In Duitsland gelden zeer strenge eisen ten aanzien van de straling in de frequentiegebieden (87,5-100) + 10,7 $\approx$ 98-111 MHz (10,7 MHz is de middenfrequentie) en 196-222 MHz.

**Electrische uitvoering**

In hetgeen nu volgt, zal worden nagegaan hoe aan de opgesomde eisen in Philips ontvangers is voldaan.

*De hoogfrequentieversterker*

De ingang van het HF-gedeelte is aangepast bij een antenneweerstand van 280 ohm (zie deel II van dit artikel); ook de golfweerstand van de kabel die de (buiten)antenne met het toestel verbindt, heeft deze waarde. Theoretisch zou hier de ruisfactor 2 moeten zijn; door verschillende oorzaken vindt men in de praktijk een waarde van ongeveer 3,5, welke ook in de massafabricage goed gehandhaafd kan worden.

Om de ruisbijdrage van de buizen zo klein mogelijk te houden, gebruikt men in het HF-gedeelte triodes, omdat deze, in tegenstelling met pentodes, vrij zijn van verdelingsruis. Veel gebruikt wordt de dubbele triode ECC 85, waarvan de ene helft dienst doet als HF-versterker en de andere helft als oscillator-mengbuis.

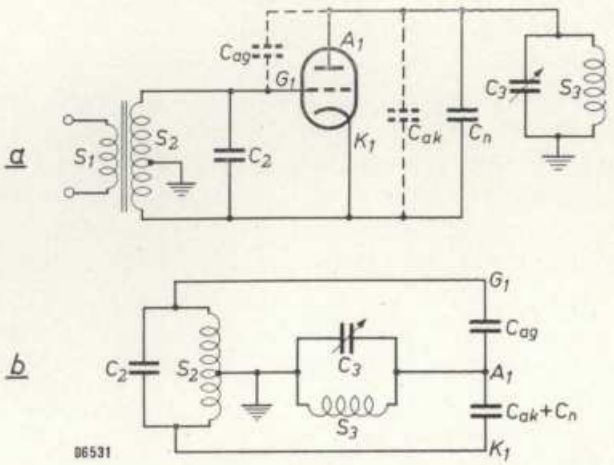



Fig. 1. *a*) Schema van de HF-versterker in tussenbasisschakeling, *b*) vervangingsschema. $S_1$ primaire spoel, $S_2$-$C_2$ secundaire kring, vast afgestemd op het midden van het frequentiegebied (94 MHz). $A_1$ anode, $G_1$ rooster en $K_1$ kathode van één helft der dubbele triode ECC 85. $S_3$-$C_3$ uitgangskring. $C_{ag}$ rooster-anodecapaciteit. $C_{ak}$ anode-kathodecapaciteit. $C_n$ neutrodynecapaciteit. De voedingsbronnen zijn niet getekend.

Een nadeel van triodes is echter dat de rooster-anodecapaciteit $C_{ag}$ vrij groot is. Bij gebruik van de kathodebasisschakeling zou men, om te sterke terugwerking van de uitgangskring op de ingangskring via $C_{ag}$ te voorkomen, moeten neutrodyniseren, maar dit is wegens het vrij grote frequentiegebied (87,5-100 MHz) niet eenvoudig. In de roosterbasisschakeling is neutrodyniseren geen probleem: men heeft dan te doen met de anode-kathodecapaciteit $C_{ak}$, die veel kleiner is dan $C_{ag}$ en bovendien ook nog minder invloed heeft doordat de ingangsimpedantie van de buis in deze schakeling zeer laag is, namelijk kleiner dan $1/S$, als $S$ de steilheid is; bij de ECC 85, met $S = 5$ tot 6 mA/V, is de ingangsimpedantie in roosterbasisschakeling ca. 150 ohm. Deze schakeling heeft echter het nadeel van geringe versterking (verhouding van anodewisselspanning tot antenne-EMK).

Een gunstig compromis is gevonden in de „tussenbasisschakeling", (*fig. 1a*) die een middenweg tussen de kathode- en de roosterbasisschakeling vormt. Als gemeenschappelijk punt van de ingangs- en de uitgangsketen fungeert in de tussenbasisschakeling noch de kathode noch het rooster, maar een tussengelegen punt, bij voorbeeld een aftakking op de spoel $S_2$. Verplaatsing van de aftakking omlaag in deze figuur doet de schakeling naderen tot de kathodebasisschakeling, verplaatsing omhoog tot de roosterbasisschakeling. Door de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



plaats van de aftakking juist te kiezen, kan men ervoor zorgen dat de versterking nog groot genoeg is om met één buis te kunnen volstaan en dat de ingangsimpedantie van de buis aanzienlijk hoger is dan $1/S$ (en de demping op de ingangskring dus klein), terwijl toch het neutrodyniseren niet zeer kritisch is. De voorwaarde tot neutrodynisatie bij een eenmaal gekozen aftakking is, zoals men uit fig. 1*b* kan aflezen, dat er een bepaalde verhouding bestaat tussen de rooster-anodecapaciteit en de totale anode-kathodecapaciteit. In ons geval is aan deze verhouding de juiste waarde gegeven door aan de aanwezige parasitaire capaciteit $C_{ak}$ een bepaalde neutrodynecapaciteit $C_n$ toe te voegen. Nadat de gunstigste waarden eenmaal waren uitgezocht, bleek men in de massafabricage te kunnen werken met een vaste aftakking en een vaste neutrodynecondensator; bijstelling is dus niet nodig.

*De mengtrap*

De HF-versterktrap wordt gevolgd door een mengtrap, die tevens oscilleert. Als middenfrequentie is, zoals gezegd, 10,7 MHz gekozen. Bij de mengbuis komt het aan op een zo gering mogelijke ruisbijdrage en op een zo groot mogelijke conversiesteilheid. Aan beide eisen voldoet de triode het best; vermeld werd al dat veelal een ECC 85 wordt gebruikt. Mede dank zij de grote HF-versterking van de voorafgaande trap is de ruisbijdrage van de mengbuis verwaarloosbaar klein. Daar een triode maar één rooster heeft, is men voor het mengen aangewezen op een zg. additieve mengschakeling, d.i. een schakeling waarin de twee te mengen signalen op hetzelfde rooster werken.

Het principeschema van de HF- en de mengtrap vindt men in *fig. 2a*. Twee bijzonderheden ervan willen wij hier bespreken; de eerste betreft de demping van het eerste MF-bandfilter, de tweede de straling.

De inwendige weerstand van de mengbuis bedraagt, statisch gemeten, slechts ca. 20 000 ohm, hetgeen al een vrij sterke demping op het bandfilter zou betekenen, dus een geringe versterking. Bovendien komt via de rooster-anodecapaciteit een zodanige MF spanning op het rooster dat de inwendige weerstand schijnbaar nog veel lager wordt, namelijk ca. 5000 ohm. De in fig. 2*b* afgebeelde brugschakeling echter zorgt ervoor dat op het rooster

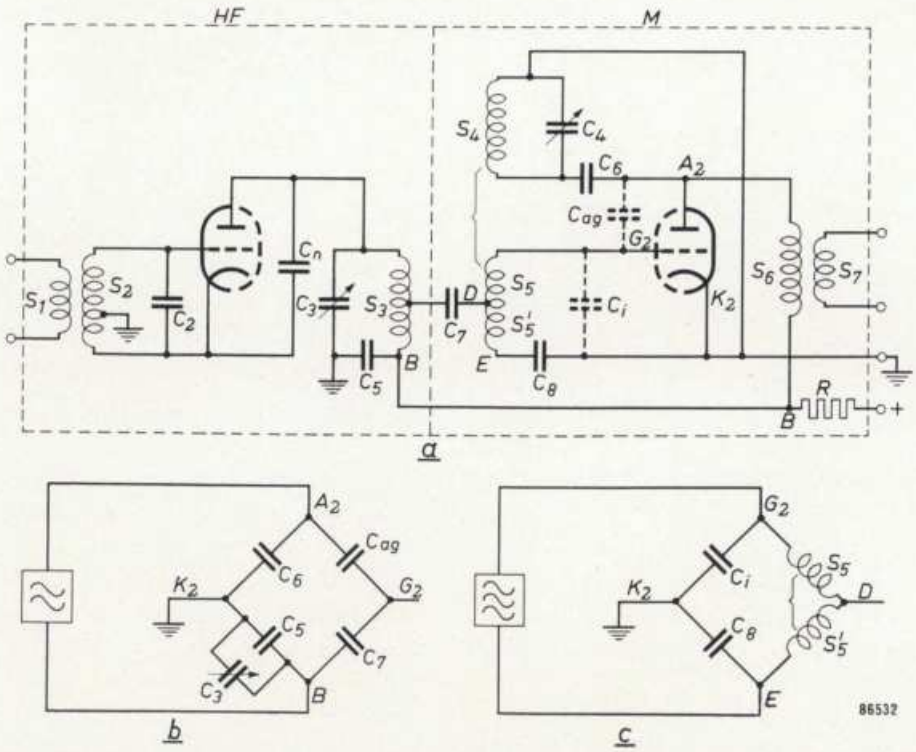



Fig. 2. *a*) *HF* hoogfrequentieversterker en *M* mengtrap, enigszins vereenvoudigd. Voor $S_1$, $S_2$, $S_3$, $C_2$, $C_3$ en $C_n$, zie fig. 1. $A_2$-$G_2$-$K_2$ electrodes van de andere helft der dubbele triode ECC 85. $S_4$-$C_4$ oscillatorkring. $S_5 + S_5'$ terugkoppelspoel. $S_6$-$C_6$ primaire kring van het eerste MF-bandfilter. $S_7$ koppelspoel. $C_i$ ingangscapaciteit.
*b*) Brugschakeling, die in het schema (*a*) aanwezig is en bij juist gekozen $C_5$ zorgt voor vermindering van de demping van het bandfilter.
*c*) Brugschakeling, eveneens in (*a*) aanwezig, die bij de juiste waarde van $C_8$ ervoor zorgt dat aan het punt *D* geen spanning met de oscillatorfrequentie optreedt, en er dus ook geen straling is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



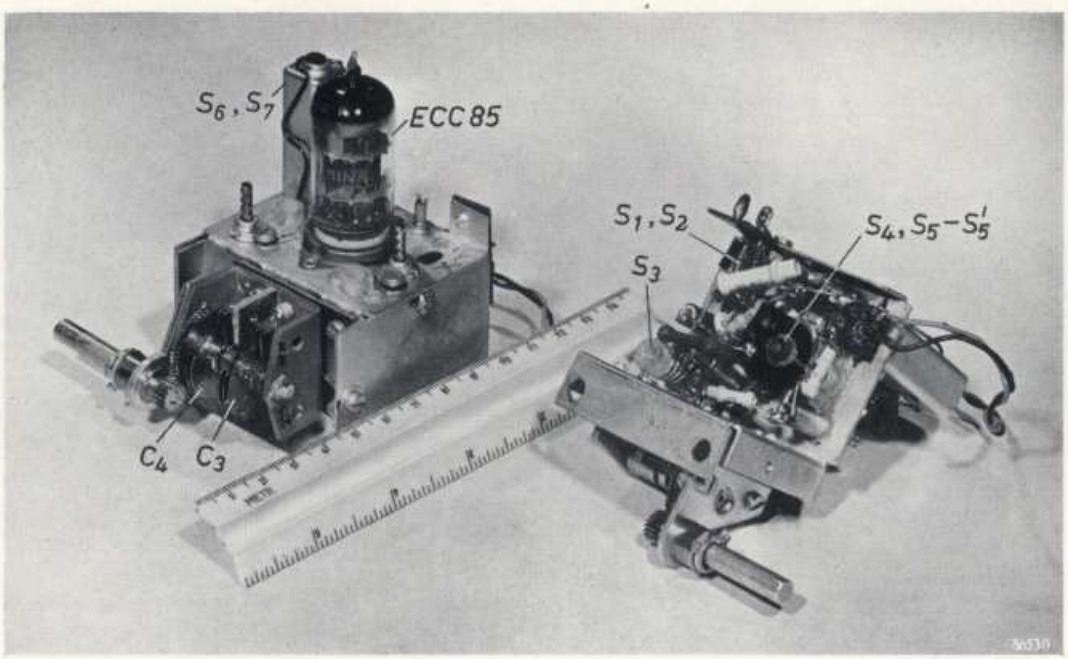



Fig. 3. Een uitvoeringsvorm van de schakeling van fig. 2*a*, uitwendig en inwendig. Betekenis van de letters als in fig. 2.

een andere MF spanning optreedt, en wel een zodanige dat deze schijnbaar de inwendige weerstand juist verhoogt, tot een waarde waarbij de demping klein genoeg is. De brug bestaat uit vier capaciteiten (als we in aanmerking nemen dat de spoelen $S_3$, $S_4$ en $S_5$ voor MF stromen mogen worden beschouwd als kortsluitingen). Van deze vier capaciteiten is $C_{ag}$ gegeven door de buis, en $C_6$ en $C_7$ liggen om bepaalde redenen ook min of meer vast; praktisch voorkomende waarden zijn bij voorbeeld: $C_{ag} =$ 2 pF, $C_6 = 20$ pF en $C_7 = 200$ pF. Hierbij zou de brug dus in evenwicht zijn als $C_5 + C_3 = 2000$ pF was. Door voor $C_5 + C_3$ een andere waarde te kiezen, kunnen wij aan de diagonaal $K_2$-$G_2$ een bepaalde MF spanning laten optreden; met $C_5 \approx 900$ pF heeft deze spanning de juiste grootte en het juiste teken. De capaciteit $C_3$ van de afstemcondensator is regelbaar van 2,5 tot 12,5 pF; dit is ten opzichte van $C_5$ zo klein dat over het gehele afstemmingsgebied de gewenste toestand gehandhaafd blijft.

Voor het tegengaan van straling is in het schema fig. 2*a* een tweede brugschakeling aangebracht. Deze is afgebeeld in fig. 2*c* en wordt gevormd door de twee delen van de terugkoppelspoel $S_5 + S_5'$, de ingangscapaciteit $C_i$ van de oscillatorbuis en de condensator $C_8$. Met $C_8$ is de brug in evenwicht gebracht, zodat de diagonaal $K_2$-$D$ vrij blijft van oscillatorspanning en deze spanning dus niet via $D$ en de HF-versterker de antenne kan bereiken. In de brug komen zelfinducties, wederzijdse inductie en capaciteiten zodanig voor dat het brugevenwicht theoretisch onafhankelijk van de frequentie is. Parasitaire zelfinducties maken weliswaar dat dit in de practijk niet volkomen het geval is, maar in het gebied waarin de oscillatorfrequentie varieert, blijft het evenwicht toch in voldoende mate bestaan.

Op deze wijze en met zeer korte bedrading uitgevoerd, kan de schakeling van fig. 2*a* een totale versterking (wisselspanning op het stuurrooster van de eerste MF-buis in verhouding tot de antenne-EMK) leveren van 200 ×. Het uiterlijk en het inwendige van zulk een HF-blok is te zien in *fig. 3*.

*De middenfrequentieversterker*

Zoals we boven zagen, zijn er verschillende redenen om in een FM-ontvanger niet minder dan drie MF-trappen te gebruiken, namelijk het verkrijgen van voldoende selectiviteit, en vooral van voldoende versterking om begrenzing te kunnen toepassen en zo ongewenste amplitudevariaties (ruis en storingen) af te snijden.

In de eerste MF-trap kan gebruik worden gemaakt van het heptodedeel van de triode-heptode (ECH 81) die bij AM-ontvangst dienst doet als mengbuis; bij FM-ontvangst blijft dan het triodedeel buiten gebruik. In de tweede trap is de gunstigste buis de pentode EF 89, daar bij dit type de verhouding $S/C_{ag}$, die de versterking bepaalt, het grootst is. De laatste trap moet werken als begrenzer, en wel vooral voor sterke signalen (bij zwakke signalen is het hoofdzakelijk de detector die begrenzend werkt). De gunstigste karakteristiek hiervoor vindt men bij de buis EF 85. Deze buis is zo geschakeld dat begrenzing optreedt door roosterstroom, waardoor

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



de ongewenste amplitudevariaties niet in de anodestroom voorkomen.

Automatische sterkteregeling wordt verkregen door tussen de tweede en de derde MF-buis een regelspanning af te nemen en deze te laten werken op het stuurrooster van de eerste MF-buis. Op deze wijze heeft de automatische sterkteregeling geen directe invloed op de begrenzende werking van de derde MF-buis.

*De detector*

De modernste FM-detector is de zg. verhoudingsdetector („ratio detector"). Deze heeft de eigenschap, niet te reageren op amplitudevariaties van het signaal en dus te werken als begrenzer [3]). De grote voordelen boven de oorspronkelijk in Amerika gebruikte detector van Foster en Seeley [4]) zijn de volgende: 1) betere begrenzing bij zwakke signalen, en 2) minder „interstation noise", d.i. het geluid dat de ontvanger voortbrengt wanneer hij nog niet goed is afgestemd, dus bij voorbeeld terwijl men van de ene zender overgaat op een andere.

Het principeschema van de verhoudingsdetector is weergegeven in *fig. 4a*.

Dat deze schakeling wèl werkt als FM- en niet als AM-detector, moge blijken uit de volgende verklaring, die geen aanspraak op volledigheid maakt.

Uitgangspunt is de volgende eigenschap van bandfilters: het fazeverschil tussen de secundaire en de primaire spanning neemt met de frequentie toe en is bij de resonantiefrequentie gelijk aan 90°.

In fig. 4*a* vormen $L_1$-$C_1$-$L_2$-$C_2$ een bandfilter, waarvan de resonantiefrequentie gelijk is aan de centrale middenfrequentie $f_c$. Bij afwezigheid van frequentiemodulatie (frequentie $f$ gelijk aan $f_c$) geldt dus fig. 4*b*: de secundaire spanningen $\mathbf{V}_1$ en $\mathbf{V}_2$ zijn $+ 90°$ resp. $- 90°$ in faze verschoven ten opzichte van de primaire spanning $\mathbf{V}_0$ (vette letters stellen vectoren voor). Bij $\mathbf{V}_1$ en $\mathbf{V}_2$ wordt opgeteld een spanning $\mathbf{V}_3$, die steeds in faze met $\mathbf{V}_0$ is. De somspanningen $\mathbf{V}_1'$ en $\mathbf{V}_2'$ worden elk afzonderlijk gelijkgericht (diodes $D_1$ en $D_2$), zodat over de afvlakcondensatoren $C_3$ en $C_4$ de gelijkspanningen $E_1$ resp. $E_2$ komen te staan, waarvoor geldt:

$$E_1 : E_2 = V_1' : V_2', \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

als $V_1'$ en $V_2'$ de modulussen van $\mathbf{V}_1'$ en $\mathbf{V}_2'$ zijn. Daar $\mathbf{V}_1$ en $\mathbf{V}_2$ in grootte gelijk zijn ($V_1 = V_2$), is bij afwezigheid van frequentiemodulatie $V_1' = V_2'$, dus ook $E_1 = E_2$, en de uitgangsspanning $E_0$ is nul (fig. 4*d*).

Is een frequentiemodulatie aanwezig, dan is de fazehoek tussen $\mathbf{V}_1$ en $\mathbf{V}_2$ enerzijds en $\mathbf{V}_0$ en $\mathbf{V}_3$ anderzijds afwisselend groter en kleiner dan 90°. Voor een bepaalde frequentieafwijking is de toestand voorgesteld in fig. 4*c*, $V_1'$ en $V_2'$ zijn nu niet meer even groot, $E_1$ en $E_2$ dus ook niet, en er is een zekere uitgangsspanning $E_0$.

Daar de spanning over de electrolytische condensator $C_5$ gedurende korte tijdsintervallen als constant kan worden beschouwd (stel $= 2E$), staat over elk van de twee gelijke weerstanden $R_1$ en $R_2$ de constante spanning $E$. Dan geldt:

$$\left.\begin{aligned} E_1 &= E - E_0 \\ \text{en} \qquad E_2 &= E + E_0. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Uit (1) en (2) volgt:

$$E_0 = \frac{V_2' - V_1'}{V_2' + V_1'} E. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Bij juiste dimensionering varieert $E_0$ nagenoeg evenredig met de frequentieafwijking.

Verandert het ingangssignaal $V_0$ van de detector in amplitude, bijv. met een factor $a$, dan veranderen $V_1'$ en $V_2'$ eveneens met deze factor, zodat de verhouding $(V_2' - V_1')/(V_2' + V_1')$ constant blijft (vandaar de naam „verhoudingsdetector").

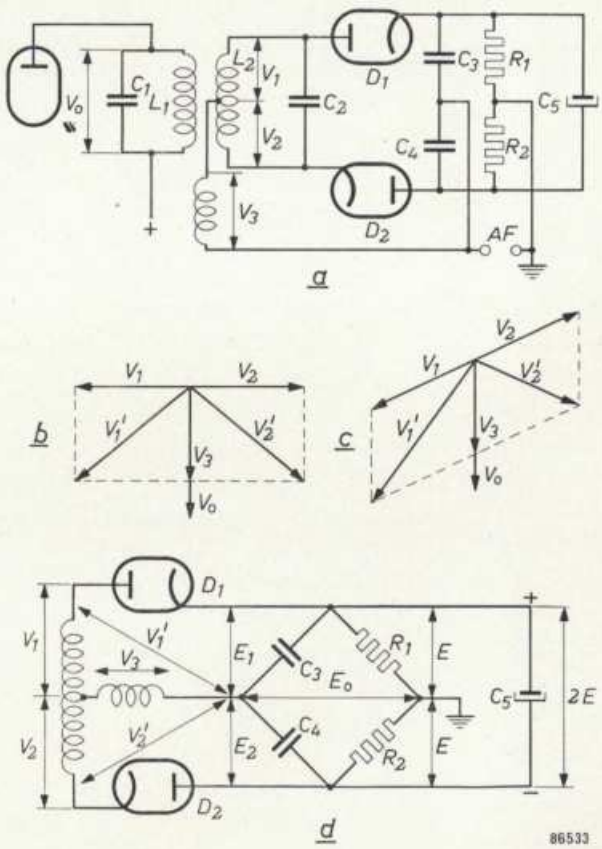



Fig. 4. *a*) Schema van de verhoudingsdetector. $L_1$-$C_1$-$L_2$-$C_2$ laatste MF-bandfilter. *AF* klemmen waartussen de audiofrequente spanning komt te staan.
*b*) Vectoriële voorstelling van de MF spanningen $\mathbf{V}_0$, $\mathbf{V}_1$, $\mathbf{V}_2$ en $\mathbf{V}_3$ (zie (*a*) ), bij afwezigheid van frequentiemodulatie. De somspanningen $\mathbf{V}_1'$ en $\mathbf{V}_2'$, die gelijkgericht worden, zijn even groot.
*c*) Als (*b*), doch met een bepaalde frequentieafwijking. $\mathbf{V}_1'$ en $\mathbf{V}_2'$ zijn niet meer even groot.
*d*) Als (*a*), doch nu zijn aangegeven de audiofrequent variërende gelijkspanningen $E_1$ en $E_2$, de audiofrequente uitgangsspanning $E_0$ en de als constant te beschouwen gelijkspanning $2E$ over de electrolytische condensator $C_5$.

[3]) Hoe deze detector door toevoeging van enige onderdelen gemakkelijk kan worden veranderd in een AM-detector, ten behoeve van televisieontvangers voor verschillende normen, is beschreven in Philips techn. T. **17**, 144, 1955 (No. 5), fig. 12.

[4]) Zie bij voorbeeld Philips techn. T. **8**, 48, 1946, fig. 10.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Is de verandering van $V_0$ snel in vergelijking met de grote tijdconstante $(R_1 + R_2)C_5$, dan blijft $E$ nagenoeg constant, en volgens (3) $E_0$ dus ook; met andere woorden: eventuele amplitudemodulatie in $V_0$ komt niet in $E_0$ tot uiting. Doordat de diodes niet ideaal zijn, is in de praktijk de onderdrukking van amplitudemodulatie niet volkomen.

Zoals bekend, wordt bij FM aan de zendzijde zg. opduw [5]) („pre-emphasis") van de hoge tonen toegepast, d.w.z. bij een audiosignaal met constante amplitude en stijgende frequentie neemt de frequentiezwaai van de zender toe. Aan de ontvangzijde moet men, om de oorspronkelijke klankverhoudingen te herstellen, een even grote terugduw [5]) („de-emphasis") toepassen. De winst van dit procédé is hierin gelegen dat bij de terugduw de ruis relatief meer wordt verzwakt dan het signaal en het resultaat dus is een geluid met een betere signaal-ruisverhouding. De opduw geschiedt door een hoog doorlatend *LR*-filter vóór de modulatie, de terugduw door een laag doorlatend *RC*-filter na de detectie. Opduw en terugduw compenseren elkaar indien beide filters dezelfde tijdconstante hebben; deze is op het vasteland van Europa bij afspraak 50 μs.

[5]) Benaming voorgesteld door het Nederlands Electrotechnisch Comité; zie bijv. de volgende uitgaven van de Hoofdcommissie voor de normalisatie in Nederland: V 1072, blz. 15, of V 1079, blz. 8.

## Mechanische uitvoering

Met de electrische eisen die in het voorgaande werden opgesomd, moet ook terdege rekening worden gehouden bij de mechanische uitvoering, in het bijzonder bij de plaatsing van de electrische onderdelen en de bedieningsknoppen.

Fig. 5. Voorbeeld van een toestel met gescheiden afstemknoppen voor AM en FM (toestel type BX 253 U). Van de rechtse dubbele knop dient de voorste voor AM-, de achterste voor FM-afstemming; van de linkse dubbele knop de voorste voor de sterkte-, de achterste voor de klankregeling. Toetsen (van links naar rechts): uitschakelen, lange golven, korte golven, middengolven, FM. Voor grammofoonweergave moeten de lange- en de kortegolftoets beide worden ingedrukt.

Fig. 6. Het toestel BX 653 A als voorbeeld van een toestel met één afstemknop (de grote knop rechts, die schijnbaar een dubbele, maar in feite een enkele knop is). Deze bedient de AM-afstemming nadat men op een AM-toets heeft gedrukt, en de FM-afstemming na drukken op de FM-toets. Van de dubbele knop links dient de voorste voor sterkteregeling, de achterste voor het richten van de ferroceptors. De lage en de hoge tonen zijn afzonderlijk regelbaar met de knopjes geheel links resp. rechts.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Plaatsing van de AM- en de FM-afstemcondensatoren op één as bij voorbeeld is niet aan te bevelen, omdat dan verschillende AM-onderdelen zodanig in de weg zouden staan dat men in het FM-gedeelte de verbindingen niet zo kort zou kunnen houden als wenselijk ware. De eenvoudigste oplossing is aandrijving van ieder condensatorstel door een eigen knop. Is het toestel voorzien van toetsen (voor het inschakelen op het net, kiezen van golfgebied of grammofoonweergave, enz.), dan kan men het zo inrichten dat de luisteraar met de ene knop kan afstemmen op een AM-zender en met de andere op een FM-zender, en dan met toetsen uit deze zenders degene kiezen die hij op een bepaald ogenblik wil horen, zonder dat hij opnieuw behoeft af te stemmen. Om plaats op de voorzijde van het toestel te besparen, kan men de twee afstemknoppen concentrisch uitvoeren (*fig. 5*); bij de plaatsing van de condensatoren is men dan toch nog vrij door gebruik te maken van snaaraandrijving.

Een stap verder gaande, komt men tot een oplossing met slechts één afstemknop, die naar keuze kan worden gekoppeld met het AM- of met het FM-afstemorgaan; de mechanische overschakeling van de knop geschiedt dan automatisch en gelijktijdig met het kiezen van het gewenste golfgebied door middel van toetsen (*fig. 6*). Aan de reproduceerbaarheid van de instelling worden hier zeer hoge eisen gesteld, daar reeds een geringe mechanische onnauwkeurigheid nadelige invloed heeft op de geluidskwaliteit en op de storingsvrijheid.

Heeft de luisteraar zo de mogelijkheid gekregen tevoren af te stemmen op twee zenders en deze te kiezen door middel van toetsen, dan rijst de vraag of dit systeem niet is uit te breiden tot meer dan twee zenders. Dit is nu zeer goed mogelijk, zij het ook dat voor elke zender extra een eigen, met de hand instelbaar, afstemorgaan nodig is, benevens een toets met bijbehorende schakelaar. Bij de luxueuzere uitvoeringen kan men overgaan op motorafstemming; het afstemorgaan wordt dan bewogen door een motor, die stopt wanneer de afstemming op de gewenste zender is bereikt. Bijzonderheden hiervan vallen buiten het kader van dit artikel.

## II. DE INGEBOUWDE FM-ANTENNE

Vele bezitters van een radiotoestel zijn niet in de gelegenheid een goede buitenantenne te laten installeren of gaan hiertoe om een andere reden niet over. Voor het ontvangen van korte golven (10-100 m, AM) is dit ook niet nodig, daar de kleine plaatvormige antenne waarvan al sinds vele jaren de meeste toestellen zijn voorzien, op deze golven bijna overal een goede en bijna storingsvrije ontvangst verzekert. Anders echter was het met de midden- en de lange golven. Wie geen buitenantenne had, behielp zich met een willekeurig in de kamer gespannen draad; daarmee werd in de meeste gevallen wel een voldoend krachtige ontvangst verkregen, maar vooral in de steden was deze allesbehalve vrij van storingen. Grote verbetering is hierin gekomen door de toestellen uit te rusten met inductieve antennes voor midden- en lange golven (hetzij raamantennes van één of twee windingen, hetzij ferroceptors [6]).

Het lag voor de hand de toestellen met een FM-gedeelte bovendien nog te voorzien van een antenne voor FM-ontvangst, te meer omdat bij de zeer korte golven de dimensionering en de aanpassing enige zorg vereisen indien men de beste resultaten wil bereiken. Deze FM-antenne — een dipool — kan tevens dienst doen als gewone antenne voor korte golven. In de kast van vele moderne radiotoestellen zal men dus drie antennes aantreffen: twee inductieve antennes en een dipool.

De eenvoudigste vorm van een dipool is voorgesteld in *fig. 7a*. Men kan deze dipool vervangen denken door een generator met een zekere inwendige impedantie. De grootte en de aard van deze impedantie zijn van belang voor de aanpassing, waarover wij aanstonds zullen spreken. In het geval van fig. 7*a* heeft de impedantie hetzelfde karakter als een serieschakeling van zelfinductie, capaciteit en weerstand: bij resonantie (golflengte $\lambda_{res} = 2 \times$ lengte $l$) is de impedantie een weerstand van ca. 70 ohm, bij hogere frequenties is ze inductief en bij lagere frequenties capacitief van karakter. Evenzo gedraagt zich de gevouwen dipool (fig. 7*b*), alleen is hier (bij gelijke diameter van de geleiders) de resonantieweerstand 4 × zo groot, dus ca. 280 ohm.

Daar de golflengte in de FM-band 3 m of meer bedraagt en een dipool volgens fig. 7*a* of *b* dus ca. 1,5 m lang moet zijn, kan men deze niet in de kast van een radiotoestel onderbrengen zonder de vorm te wijzigen, zoals in fig. 7*c* en *d* is voorgesteld. Het blijkt dat dit ombuigen de resonantiefrequentie nagenoeg niet verandert, maar dat de stralingsweerstand — en daarme de resonantieweerstand — aanzienlijk afneemt: in het geval van een kast met

[6]) H. Blok en J. J. Rietveld, Philips techn. T. **16**, 149-162, 1954 (No. 6).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



grootste afmeting $l' = 50$ tot 70 cm wordt de resonantieweerstand 20 tot 30 ohm bij de normale dipool (fig. 7*c*) en 100 tot 120 ohm bij de gevouwen dipool (fig. 7*d*).

Middelen om te kunnen volstaan met een dipool die korter dan $^1/_2\ \lambda_{res}$ is, bestaan in het toevoegen van zelfinductie of capaciteit. In fig. 7*e* is de zelfinductie vergroot door twee spoelen, in fig. 7*f* de capaciteit door twee eindplaten. Zulke antennes hebben ongeveer dezelfde eigenschappen als een omgebogen dipool volgens fig. 7*c*. Vervangt men in fig. 7*e* de twee spoelen door één spoel met twee maal zo grote zelfinductie (fig. 7*g*), dan ontstaat de mogelijkheid, door middel van aftakkingen op de spoel een bepaalde, gewenste, impedantie tussen de aansluitpunten in te stellen.

In de Philips toestellen wordt een omgebogen gevouwen dipool gebruikt (fig. 7*d*). De lengte is zo gekozen dat resonantie optreedt in het midden van het frequentiegebied, dus bij 94 MHz.

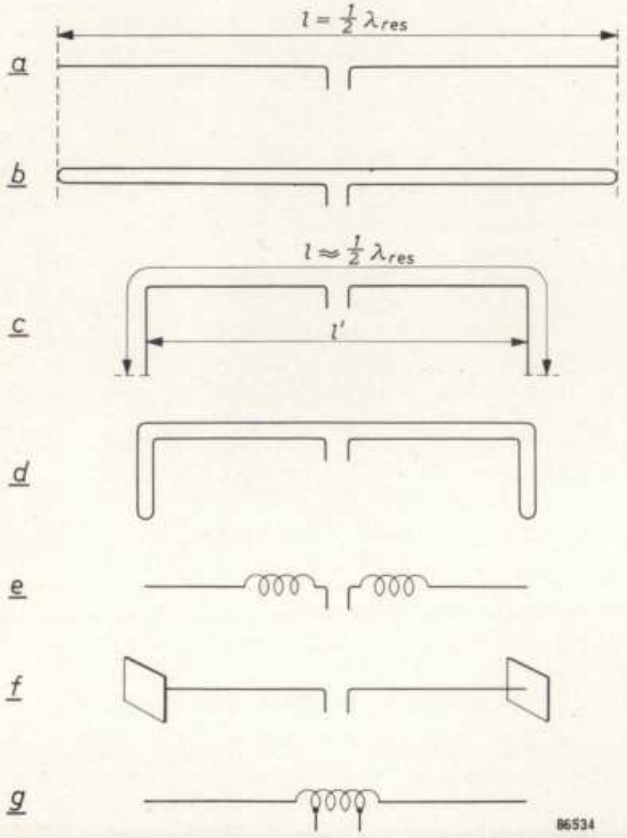



Fig. 7. Vormen van dipoolantennes. *a*) Gewone dipool; lengte $l$ gelijk aan de helft van de resonantiegolflengte $\lambda_{res}$. *b*) Gevouwen dipool. Om de dipool te doen passen in een kast ter lengte $l' < l$, kan men hem òf ombuigen (*c*, *d*), òf voorzien van twee spoelen (*e*), van twee eindplaten (*f*) of van één spoel (*g*).

*De aanpassing tussen de antenne en de ontvanger*

Het signaal aan de ingangsklemmen *c-d* van de ontvanger (*fig. 8*) is het sterkst als de antenne-impedantie $Z_a = R_a + jX_a$ is aangepast bij de impedantie $Z_i' = R_i' + jX_i'$ welke de antenne „ziet" aan de ingang *a-b* van de kabel die haar met het toestel verbindt, d.w.z. als $R_a = R_i'$ en $X_a = -X_i'$. De impedantie $Z_i'$ verschilt in het algemeen van de ingangsimpedantie $Z_i = R_i + jX_i$ tussen de klemmen *c-d* van de ontvanger zelf, doordat de kabel als impedantietransformator werkt. Alleen indien $Z_i$ in het gehele frequentiegebied gelijk is aan de karakteristieke impedantie $\zeta$ van de kabel, is $Z_i' = Z_i$.

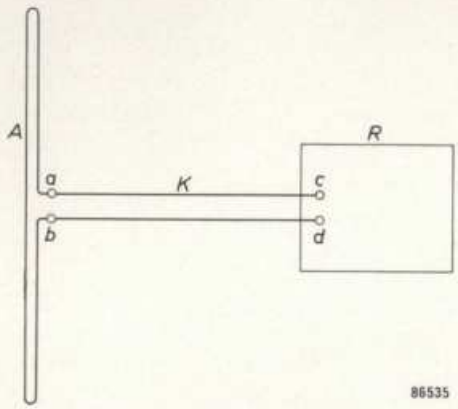



Fig. 8. *A* gevouwen dipool, door een kabel *K* verbonden met de ontvanger *R*.

Een gevouwen dipool als buitenantenne (met $R_a = 280$ ohm) is dan ook goed aangepast indien deze door een geschikte kabel ($\zeta = 280$ ohm) is aangesloten op de ontvanger, waarvan de ingangsimpedantie bij resonantie eveneens de waarde 280 ohm heeft.

Anders is het evenwel bij een omgebogen gevouwen dipool binnen het toestel (fig. 7*d*). Hier is $R_a \approx 100$-120 ohm, terwijl $R_i = 280$ ohm. Het korte verbindingskabeltje moet hier een zo goed mogelijke aanpassing tot stand brengen. Om dit te verifieren, kan men met voordeel gebruik maken van een meetmethode die destijds in dit tijdschrift is beschreven [7]). Wij meten hiermee de componenten van $Z_a$ en $Z_i'$ en kunnen dan nagaan of aan de aanpassingsvoorwaarden: $R_a = R_i'$ en $X_a = -X_i'$, in voldoende mate wordt beantwoord. Blijkt dit niet het geval te zijn, dan moet de meting worden herhaald met een verbindingskabeltje van andere afmetingen, zo vaak tot het doel is bereikt.

Op de laatste bladzijde van het in [7]) aangehaalde artikel worden enige varianten op de daarvóór beschreven meetmethode genoemd. De laatste van deze varianten werd door ons gebruikt. Hieronder volgt een korte beschrijving van onze meetopstelling.

In *fig. 9* is *G* een signaalgenerator met een afleesbare frequentie $f$, die regelbaar is van 87,5 tot 100 MHz. De uitgangsspanning $V_{gen}$ is continu regelbaar en in relatieve maat bekend.

[7]) J. C. van den Hoogenband en J. Stolk, Philips techn. T. **16**, 325-336, 1954 (No. 11).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



De generator is over weerstanden $R_0$ verbonden met een ca. 60 m lange meetleiding. De waarde $R_0$ is zo gekozen dat $2R_0$ plus de inwendige weerstand van de generator gelijk is aan de karakteristieke impedantie van de meetleiding. Deze laatste is aan het andere eind òf kortgesloten òf aangesloten op de te meten impedantie $Z$ (i.c. de impedantie $Z_a$ van de dipool of de ingangsimpedantie $Z_i'$ van het kabeltje $K$ in fig. 8). Aan het begin van de meetleiding bevinden zich een detector $D$ en een electronische millivoltmeter $mV$. Daar $V_{gen}$ tot een bepaalde diepte in amplitude is gemoduleerd, is de op $mV$ afgelezen gedetecteerde spanning $V_{det}$ een maat voor de hoogfrequente spanning aan het begin van de meetleiding.

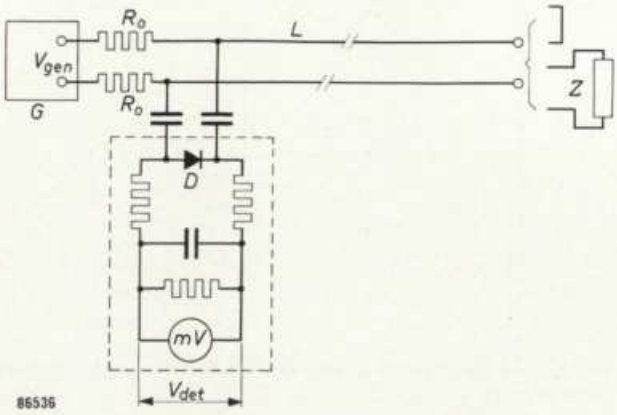



Fig. 9. Inrichting voor het meten van impedanties. $G$ signaalgenerator met regelbare frequentie en spanning, in amplitude gemoduleerd. $L$ lange meetleiding. $Z$ te meten impedantie. $D$ detector. $mV$ electronische millivoltmeter.

## *Meting van de gevoeligheid*

Voor het meten van de gevoeligheid van een ingebouwde dipool wordt de ontvanger voorzien van een indicator, bij voorbeeld een gelijkstroommeter in de begrenzer- of in de detectorschakeling. Deze meter wordt geijkt in hoogfrequente spanning op de ingang van de ontvanger.

Vervolgens wordt de ontvanger opgesteld, zo ver mogelijk verwijderd van voorwerpen die de golven zouden kunnen reflecteren. Op niet minder dan 30 m afstand plaatst men een zenddipool, zo dat zijn middenloodvlak samenvalt met dat van de ontvangdipool. Men laat de zenddipool een veld opwekken waarvan de sterkte ter plaatse van de ontvanger bekend is, en uit de aflezing van de meter volgt dan de grootte van het ingangssignaal dat bij deze veldsterkte behoort.

Bij deze meting moet men rekening houden met mogelijke asymmetrie aan de ingang van de ontvanger. De beide aders van het kabeltje $K$ (*fig. 10a*; de dipool denken we nog niet aangesloten) werken enigszins als antenne en voeren aan de punten $c$ en $d$ signalen toe die onderling in faze zijn. Bij volkomen symmetrie van de ingang heffen deze signalen elkaar op, maar bij asymmetrie — zoals in de regel zal voorkomen — blijft er een zeker restsignaal over, stel $V_1$. Het signaal dat de dipool levert, zij $V_2$. Al naar de wijze waarop men de dipool aansluit (de verbinding komt tot stand door middel van stekers, die verwisselbaar zijn), wordt het totale signaal de vectorsom van $V_1$ en $+ V_2$ of van $V_1$ en $- V_2$. Het verschil tussen deze beide sommen kan aanzienlijk zijn, het verschil in gevoeligheid dus eveneens.

Om deze reden is het wenselijk vooraf de symmetrie te controleren. Daartoe sluit men een signaalgenerator achtereenvolgens aan zoals in fig. 10*b* en *c* is voorgesteld. In het laatste geval slaat bij volkomen symmetrie de meter niet uit. Toegelaten is een uitslag die men in het geval van fig. 10*b* zou krijgen indien de generatorspanning een factor 10 werd verlaagd.

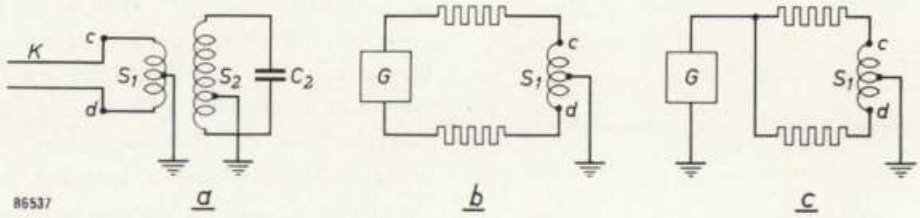



Fig. 10. *a*) Ingang van een FM-ontvanger, met het verbindingskabeltje $K$ van de ingebouwde dipool. Betekenis van $S_1$, $S_2$ en $C_2$ als in fig. 1. *b*) en *c*) Controle van de symmetrie. $G$ signaalgenerator. De in het toestel aangebrachte indicator mag bij (*c*) niet meer aanwijzen dan hij zou doen in het geval (*b*) nadat de generatorspanning 10 × zo klein was gemaakt.

**Samenvatting.** De voornaamste electrische eisen die men aan een frequentiemodulatieontvanger stelt, betreffen de gevoeligheid, de signaal-ruisverhouding, de signaal-storingsverhouding, de selectiviteit, de straling en de kwaliteit van het laagfrequentiegedeelte. Deze eisen hebben geleid tot toestellen die het volgende omvatten: één trap hoogfrequentieversterking met één helft van een dubbele triode ECC 85 in „tussenbasisschakeling", een oscillerende mengtrap met de andere helft van de ECC 85, drie trappen middenfrequentieversterking (met het heptodegedeelte van een ECH 81, een pentode EF 89 en een pentode EF 85), een verhoudingsdetector („ratio detector") en een laagfrequentiegedeelte (niet in dit artikel besproken) met goede geluidsweergave tot 15 000 Hz. In de mengtrap komen twee brugschakelingen voor; de ene maakt dat de demping van het eerste middenfrequentiebandfilter gering blijft, de andere brugschakeling voorkomt straling.

Toestellen met een amplitudemodulatie- en een frequentiemodulatiegedeelte worden voorzien van hetzij twee afstemknoppen, hetzij van één afstemknop die naar keuze, door middel van toetsen, met het ene of met het andere afstemorgaan wordt gekoppeld.

In het laatste gedeelte wordt ingegaan op de ingebouwde frequentiemodulatieantenne: een gevouwen dipool, op twee plaatsen omgebogen om ze in een radiokast te kunnen onderbrengen. Dit omvouwen brengt de antenne-impedantie van 280 ohm terug tot 100-120 ohm. Een kabeltje zorgt voor aanpassing van de ingangsimpedantie van het toestel, die, met het oog op de buitenantenne, 280 ohm bedraagt. Besproken wordt een meetmethode voor het verifiëren van de aanpassing.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# BOEKBESPREKING

**Gegevens en schakelingen van moderne ontvang- en versterkbuizen,** door N. S. Markus en J. Vink, 258 blz., 290 figuren. — Philips' Technische Bibliotheek — Meulenhoff & Co. N.V., Amsterdam 1955.

De steeds voortsnellende ontwikkeling van de radiotechniek weerspiegelt zich in het telkens verschijnen van nieuwe typen radiobuizen. De redactie van Philips' Technische Bibliotheek stelt zich blijkbaar ten doel, zo spoedig mogelijk na het in de handel komen van nieuwe buizen, de gegevens daarvan in uitgebreide vorm te publiceren. In het zojuist uitgekomen deel IIIb van de serie over electronenbuizen worden drie groepen van buizen in desbetreffende hoofdstukken behandeld, namelijk miniatuur-batterijbuizen, buizen voor AM/FM-ontvangers en buizen speciaal voor ultrakortegolfontvangst. Ieder hoofdstuk beschrijft eerst een aantal buizen in detail en geeft dan een reeks schema's. De bespreking in detail gaat zo ver dat men rustig kan zeggen dat ze die van een goed theorieboek zeer nabij komt. In niet mindere mate geldt dit voor de schemabeschrijvingen, die het theoretisch ontwerp en de daarbij behorende berekeningen op de voet volgen en daarbij ver uitgaan boven de eigenlijke buizentheorie. Wij zouden wensen dat iedere ontwerper die met de besproken buizen te maken krijgt, de in dit boek behandelde stof volkomen beheerste.

Het eerste hoofdstuk behandelt de DK 92 (een batterijmengbuis), de DL 94 (een batterij-eindpentode) en de DM 70 en DM 71 (afstemindicatoren). Voor de mengbuis vindt men volledige gegevens betreffende de antenne-, de oscillator- en de middenfrequentiespoelen, naast een twaalftal karakteristiekenscharen; voor de eindbuis elf tabellen, een aantal instellingsgegevens en 25 karakteristiekenscharen — ziedaar enige voorbeelden van de uitvoerigheid der behandeling. De beschrijving van de batterijontvangers is eveneens zeer volledig.

Het tweede hoofdstuk bespreekt de buizen type EABC 80, EC 92, ECH 81, EF 85 en de overeenkomstige U-typen, alsmede de EZ 80. Ook van deze buizen wordt aan de hand van theoretische beschouwingen een grote verscheidenheid van gegevens verstrekt. Jammer is alleen dat de later uitgekomen buizen ECC 83 en EL 84 niet meer in de beschrijving konden worden opgenomen, al wordt de EL 84 wel in een van de schema's vermeld. De schema's bevatten de complete ontwerpgegevens voor AM/FM-supers, natuurlijk weer vergezeld van theoretische beschouwingen.

Het laatste hoofdstuk beschrijft de DC 70 (een direct verhitte ultragolftriode), de EC 80 (een ultrakortegolftriode voor roosterbasisschakelingen), de EC 81 (een ultrakortegolf-oscillatortriode) en de EC 55 (een schijftriode die als oscillator tot frequenties van 3000 MHz kan werken en daarbij een vermogen van 0,5 watt kan afgeven). Ook in dit hoofdstuk zijn gegevens voor toepassingen opgenomen, hoewel iets minder uitvoerig dan in de vorige hoofdstukken.

J. RODRIGUES de MIRANDA.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# AUTOMATISCHE FREQUENTIESTABILISATIE VOOR EEN STRAALZENDER OP CENTIMETERGOLVEN

door J. CAYZAC *).

621.316.726:621.396.61.029.64

*Dit derde van een reeks artikelen over een telecommunicatiezender op centimetergolven beschrijft een inrichting die de frequentie waarop de zendbuis (een multireflectiebuis) oscilleert, automatisch nagenoeg constant houdt. Het resterende frequentieverloop is kleiner dan $1:10^4$.*

Bij straalzenders op microgolven worden zekere eisen aan de stabiliteit van de draaggolffrequentie der uitgezonden straling gesteld. Om ongewenste interferenties tussen de verschillende relaisstations te vermijden, kan een nauwkeurigheid van 1 op 10 000 noodzakelijk zijn, bij een draaggolffrequentie van omstreeks 3400 MHz (8,5 cm golflengte). Dit geldt speciaal in verbindingen over grote afstand met een aantal opeenvolgende relaisstations die verschillende draaggolffrequenties binnen één bepaalde frequentieband gebruiken.

In een vorige aflevering van dit tijdschrift is een zendbuis beschreven [1]), de multireflectiebuis, die speciaal voor straalzenders geschikt is, doordat zij op centimetergolven een nuttig vermogen van minstens 10 W kan leveren en daarbij goed in frequentie is te moduleren. De frequentie waarop deze buis oscilleert, is van diverse grootheden afhankelijk, in het bijzonder van de voedingsspanningen (daaraan is juist de gemakkelijke moduleerbaarheid te danken). De buis heeft bij een nominale frequentie van 3400 MHz een anodespanning van 3000 V nodig, en voor iedere volt verandering van deze spanning krijgen we een frequentieverschuiving van 100 à 200 kHz. Men zou dus de voedingsspanningen zeer zorgvuldig moeten stabiliseren. Omdat echter de frequentie ook door andere oorzaken, zoals thermische effecten, kan variëren, zoekt men bij voorkeur naar een oplossing die, onafhankelijk van de oorzaak, de frequentieverandering die zou moeten optreden automatisch compenseert. Het vermogen dat hiervoor wordt verbruikt, mag natuurlijk slechts een kleine fractie van het nuttige vermogen zijn.

Men kan de draaggolffrequentie van een zender zeer goed constant houden door deze frequentie te vergelijken met de (vele malen vermenigvuldigde) frequentie van een door een kristal bestuurde oscillator en het eventuele frequentieverschil te gebruiken voor terugregeling. Wij zullen echter een ander procédé beschrijven, dat, hoewel minder nauwkeurig, toch aan de hier gestelde eisen voldoet en een aantal practische voordelen biedt. Een van deze voordelen is het volgende:

Onze apparatuur voor de frequentiecompensatie bestaat uit twee gedeelten. Het eerste gedeelte, waarin hoogfrequente spanningen optreden en dat uiteraard tussen de zendbuis en de antenne moet worden geplaatst, bevat geen buizen of andere elementen waaraan onderhoud nodig is. Omdat een relaiszender soms op een hoge toren is geplaatst, kan dit van belang zijn. Een kabel voert dan naar het tweede (laagfrequentie-)gedeelte, waarin uitsluitend conventionele ontvangbuizen voorkomen.

## Principe van de frequentiecompensatie

Bij de beschrijving van het principe van de frequentiecompensatie gaan we uit van een symmetrisch gemoduleerde draaggolf met frequentie $f_c$. Wij kunnen het spectrum van het uitgestraalde vermogen voorstellen door een band die symmetrisch om $f_c$ ligt en een breedte heeft gelijk aan de dubbele frequentiezwaai $2f_z$ (*fig. 1a*). Een klein gedeelte van dit vermogen voeren we toe aan twee trilholten met eigen frequenties $f_1$ en $f_2$, die in de buurt van $f_c$ liggen; het frequentieverschil $f_1-f_2$ nemen we iets groter dan $2f_z$. De kwaliteit van beide trilholten stellen we zodanig in dat hun resonantiekrommen elkaar enigszins overlappen, zoals we in fig. 1*b* hebben geschetst. Bij een bepaalde draaggolffrequentie $f_c$ kunnen we nu het gemiddelde vermogen in iedere trilholte meten met behulp van een detectorkristal, dat met die trilholte is gekoppeld.

Indien we onderstellen dat de kristallen, benevens hun aankoppeling aan de trilholte, gelijk en niet selectief zijn, krijgen we alleen dan uit beide kristallen hetzelfde signaal wanneer de draaggolf-

*) Laboratoires d'Electronique et de Physique appliquées, Parijs.

[1]) F. Coeterier, De multireflectiebuis als zendbuis in een straalzenderverbinding, Philips techn. T. **17**, 293-298, 1955 (No. 10).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



frequentie $f_c$ midden tussen de frequenties $f_1$ en $f_2$ ligt, dus gelijk is aan $f_0$, waarbij $f_0 = \frac{1}{2}(f_1+f_2)$ (fig. 1*c*). De signalen in de beide trilholten zijn door de gearceerde gebieden weergegeven. Ligt $f_c$, zoals in fig. 1*d*, dichter bij $f_2$ dan bij $f_1$, dan is het

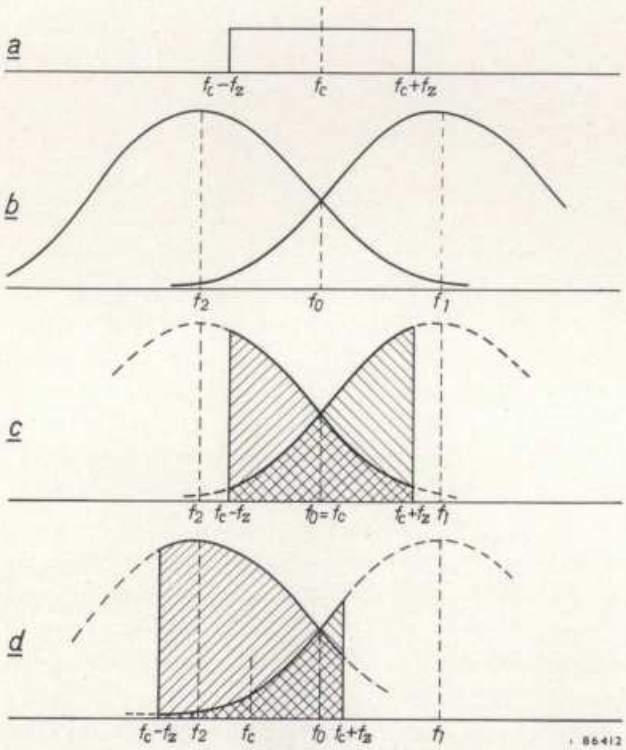



Fig. 1. *a*) De uitgezonden frequentieband met centrale frequentie $f_c$ en de frequentiezwaai $f_z$. Verticaal is de signaalsterkte uitgezet.
*b*) De doorlaatkrommen van de trilholten *1* en *2* met resonantiefrequenties $f_1$ resp. $f_2$.
*c*) De door de uitgezonden frequentieband van (*a*) in de trilholten *1* en *2* opgewekte signalen (de gearceerde oppervlakken), indien $f_c = f_0$.
*d*) Hetzelfde indien $f_c \neq f_0$.

gemiddelde signaal in trilholte *2* zeker sterker dan dat in trilholte *1*, en omgekeerd. Wanneer we nu afwisselend het signaal uit de beide kristallen meten, dan krijgen we een stroom met een wisselstroomcomponent, waarvan de amplitude toeneemt met het verschil $|f_c - f_0|$. Voor $f_c = f_0$ is de wisselstroom nul. Het teken van $f_c - f_0$ bepaalt de faze van de wisselstroom. Deze wisselstroom wordt versterkt, en met behulp van een voor de faze gevoelige detectorschakeling verkrijgen we een gelijkspanning, die naar grootte en teken met $f_c - f_0$ evenredig is. Als we deze uitgangsspanning na de nodige versterking toevoeren aan een electrode van de buis die de frequentie regelt, zal de draaggolffrequentie $f_c$ teruggeregeld worden tot vlak bij de frequentie $f_0$.

Het is hierbij essentieel, dat de karakteristieken van de beide kristallen in de loop van de tijd zeer goed constant blijven. Omdat hieraan in de practijk moeilijk is te voldoen, hebben we een methode bedacht die deze verschillen geheel elimineert. We meten namelijk met hetzelfde kristal afwisselend het veld in de ene en dat in de andere trilholte, op een wijze die hieronder nader wordt beschreven.

De hier besproken analyse is alleen streng geldig indien de modulatie zodanig is dat de spectrale componenten van de uitgezonden frequentieband symmetrisch om een vaste frequentie zijn verdeeld. In het geval van een asymmetrische verdeling (zoals bijv. bij modulatie met televisiesignalen, waar één zijband onderdrukt wordt) kan het systeem evenwel ook gebruikt worden. Het is hierbij mogelijk een opstelling te ontwerpen waarbij alleen een signaal wordt opgevangen dat een vaste plaats in de uitgezonden frequentieband heeft. Hiervoor kan men het signaal gebruiken dat het nulniveau van de helderheid van het televisiebeeld vastlegt.

We besluiten de bespreking van dit principe met de opmerking dat het beschreven systeem speciaal geschikt is in het geval dat de uitgezonden frequentieband veel breder is dan de toelaatbare verschuiving hiervan. Dit is algemeen het geval bij telecommunicatiesystemen op dm- of cm-golven.

## Practische uitvoering

Het systeem is toegepast op een straalzender met een multireflectiebuis [2]), waarvan het uitgaand vermogen 10 W is bij een frequentie van 3400 MHz. De door de modulatie optredende frequentieband gaat tot maximaal 6,5 MHz boven en beneden de draaggolffrequentie. Door variëren van de spanning op de zg. reflectie-electrode regelt men de centrale frequentie, en wel met 50 kHz per volt in een gebied van −100 tot +100 V ten opzichte van de kathodepotentiaal.

### *Het hoogfrequentiegedeelte*

De vereiste bandbreedte is 13 MHz. We kiezen de eigen frequenties van de beide trilholten aldus:

$$f_1 = f_0 - 7{,}5 \text{ MHz} \quad \text{en} \quad f_2 = f_0 + 7{,}5 \text{ MHz}.$$

De gehele band valt dan tussen $f_1$ en $f_2$ (als in fig. 1). Het verband tussen het verschil van de signalen in de beide trilholten en de frequentie $f_c$ willen we bovendien zo lineair mogelijk hebben. Dit is te verwezenlijken door de kwaliteitsfactor $Q$ van de trilholten een bepaalde waarde te geven, die in dit geval 280 blijkt te zijn.

We kunnen dit als volgt afleiden. De hoogfrequente spanning $V$ die men in een trilholte meet, is als functie van de frequentie $f$:

$$V = \frac{V_0}{1 + 4Q^2\left(\frac{f-f_r}{f_r}\right)^2}.$$

[2]) Men zie C. Ducot, Philips techn. T. **17**, 281-292, 1955 (No. 10) en het boven aangehaalde artikel [1]).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Hierin is $f_r$ de resonantiefrequentie van de trilholte, $Q$ zijn kwaliteitsfactor en $V_0$ de spanning voor $f = f_r$. De karakteristiek van de discriminator $y(f)$ wordt gegeven door het verschil van de spanningen in de beide trilholten. We onderstellen bij beide trilholten $V_0$ en $Q$ gelijk en krijgen dan:

$$y = \frac{V_0}{1 + 4Q^2\left(\frac{f-f_1}{f_1}\right)^2} - \frac{V_0}{1 + 4Q^2\left(\frac{f-f_2}{f_2}\right)^2}.$$

Indien we stellen:

$$2Q\,\frac{f-f_0}{f_0} = x$$

en

$$2Q\,\frac{f_0-f_1}{f_0} = 2Q\,\frac{f_2-f_0}{f_0} = a,$$

volgt hieruit, als men bedenkt dat $f_1 \approx f_2 \approx f_0$:

$$y = V_0\left[\frac{1}{1+(x+a)^2} - \frac{1}{1+(x-a)^2}\right].$$

Voor $x = 0$ is $d^2y/dx^2 = 0$, zodat in de omgeving van $x = 0$ de karakteristiek al vrij goed lineair is. De lineariteit wordt nog beter indien ook

$$\left(\frac{d^3y}{dx^3}\right)_{x=0} = 0,$$

hetgeen het geval is voor $a = \sqrt{1{,}5}$, zodat

$$Q = \frac{f_0\sqrt{1{,}5}}{2\,(f_0-f_1)}.$$

Met de gegeven waarden $f_0$ en $f_1$ wordt $Q = 280$.

Een dergelijke waarde is voor deze frequenties gemakkelijk te bereiken. Het is echter essentieel dat de factor $Q$ van beide trilholten dezelfde is en dat ze beide op dezelfde manier worden aangestoten. We hebben daarom de constructie volgens *fig. 2* toegepast. De beide trilholten zijn uit één blok koper gefreesd en zijn via identieke coaxiale geleiders zwak gekoppeld met de golfpijp waar de uit te zenden hoogfrequentie-energie doorheen stroomt.

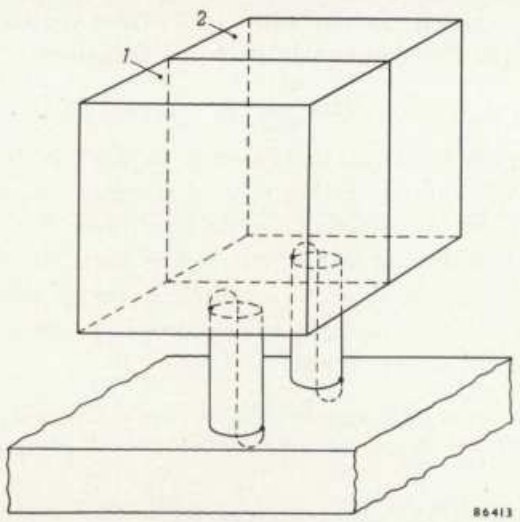



Fig. 2. De aankoppeling van de beide trilholten *1* en *2* aan de golfpijp is geheel symmetrisch uitgevoerd in een vlak loodrecht op de voortplantingsrichting van de energie.

Beide koppelsystemen staan symmetrisch in een vlak loodrecht op de voortplantingsrichting, zodat de koppeling naar amplitude en faze dezelfde is. Het totale door dit systeem geabsorbeerde vermogen bedraagt ongeveer 0,5 mW. Dit is derhalve zeer klein ten opzichte van het zendvermogen, dat omstreeks 10 W bedraagt.

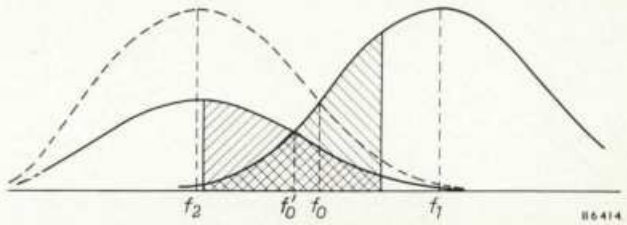



Fig. 3. Bij een geringere gevoeligheid van de detector in trilholte *2* krijgt men als doorlaatkarakteristiek de getrokken in plaats van de gestippelde kromme. Het punt $f_0$ verschuift hierbij naar $f_0'$.

In *fig. 3* is aangegeven wat er zou gebeuren indien iedere trilholte was voorzien van een detectorkristal en de gevoeligheid van het ene kristal groter was dan van het andere. De frequentie waarbij de uitgangssignalen dezelfde zijn, is van $f_0$ naar $f_0'$ verschoven. Bovendien zullen, zelfs indien $f_c$ nu met $f_0'$ zou samenvallen, door de modulatie in beide kristallen ongelijke signalen worden gevormd, en wel is, zoals fig. 3 laat zien, het signaal in trilholte *1* groter, zodat $f_c$ nog een afwijking naar links zal ondergaan. Op deze manier zou een ontoelaatbare frequentieverschuiving optreden. Daarom meten we, zoals gezegd, met hetzelfde kristal in beide trilholten afwisselend de spanning. We kunnen dit afwisselen met een lage frequentie laten gebeuren, in ons geval 50 Hz, want de frequentieverschuivingen waar het hier om gaat, gebeuren zeer langzaam, zodat de regelapparatuur zonder bezwaar een tijdconstante van omstreeks één seconde mag hebben.

De koppeling van beide trilholten met het kristal is in *fig. 4* schematisch voorgesteld. Het kristal *4* is geheel symmetrisch ten opzichte van de trilholten *1* en *2* opgesteld en is door een gaatje in de scheidingswand *3* met beide trilholten even sterk gekoppeld. Het commuteren van het kristal geschiedt door twee „absorptiemodulatoren", in elke trilholte één, die in tegenfaze werken. Hierdoor wordt telkens de energie in één trilholte vrijwel geheel geabsorbeerd, terwijl de andere onverzwakt trilt. In de volgende halve periode van het commuteren werkt de absorptiemodulator in de andere trilholte.

Deze absorptiemodulatoren maken gebruik van het feit dat de verliezen van sommige ferrieten bij de frequenties waarover het hier gaat, sterk afhanke-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



lijk zijn van een zwak uitwendig magneetveld [3]).

De uitvoering in ons geval is geschetst in *fig. 5*. Twee coaxiale lijnen, $K_1$ en $K_2$, die aan één einde met de trilholten zijn gekoppeld, zijn aan het andere einde afgesloten met een lus, waar staafjes ferroxcube $F_1$ en $F_2$ doorheen steken. Om deze staafjes zijn spoeltjes aangebracht. Een veranderlijke stroom door die spoeltjes geeft een veranderend magnetisch veld in de staafjes ferroxcube. Hierdoor veranderen de hoogfrequentieverliezen in elk van de staafjes, en via de coaxiale lijn wordt de kwaliteitsfactor van de trilholte beïnvloed. De aanpassing van het staafje bij de trilholte komt tot stand door de impedantietransformatoren $T$.

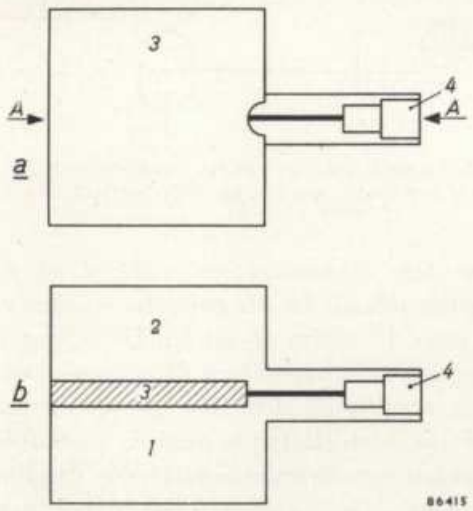



Fig. 4. Plaatsing van het kristal *4* in het vlak van de scheidingswand *3* tussen de trilholten *1* en *2*, *a*) van opzij gezien, waarbij trilholte *1* is weggenomen, *b*) doorsnede volgens $AA$.

[3]) Zie H. G. Beljers, W. J. van de Lindt en J. J. Went, J. appl. Phys. **22**, 1506, 1951. Het verschijnsel en de toepassing ervan voor amplitudemodulatie van microgolven zullen binnenkort nader in dit tijdschrift worden behandeld.

In *fig. 6* is getekend hoe de factor $Q$ van de trilholte afhangt van het magneetveld waarin het ferroxcube is geplaatst. We zien dat de waarde van $Q$ onafhankelijk is van de veldrichting. Indien we, zoals in ons geval, willen moduleren met een kanteelfunctie, zal het dus nodig zijn aan de spoel een stroom toe te voeren met een gelijkstroomcomponent. Dit brengt bezwaren mee, omdat deze spoel via een aanpassingstransformator wordt gevoed.

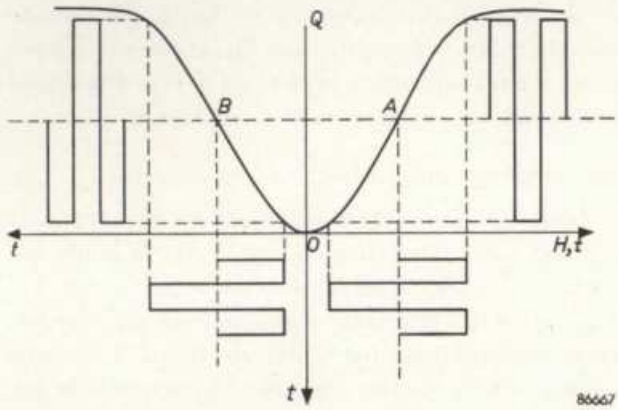



Fig. 6. De kwaliteitsfactor $Q$ van de trilholte, als functie van het magneetveld $H$ waarin het ferroxcube is geplaatst. Door de tegengestelde voormagnetisatie wordt bij gelijke richting van $H$ de factor $Q$ van de twee trilholten in tegengestelde zin gemoduleerd.

Het is eenvoudiger het ferroxcube met behulp van permanente magneten ($M_1$ en $M_2$ in fig. 5) een voormagnetisatie te geven, behorende bij een „gemiddelde" $Q$ (de punten $A$ en $B$ in fig. 6). Door deze voormagnetisatie bij beide staafjes tegengesteld te nemen, kunnen we door beide spoeltjes dezelfde stroom laten lopen. Zoals we in fig. 6 zien, wordt de factor $Q$ van beide trilholten dan in tegengestelde zin gemoduleerd.

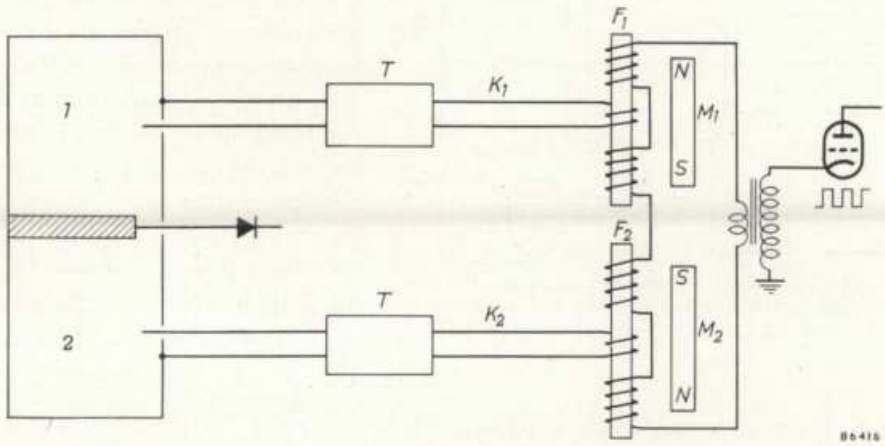



Fig. 5. Schema van het modulatiesysteem. De coaxiale leidingen $K_1$ en $K_2$ koppelen de trilholten *1* en *2* met de ferroxcubestaafjes $F_1$ en $F_2$, die afwisselend worden gemagnetiseerd door een kanteelvormige wisselstroom. De permanente magneten $M_1$ en $M_2$ geven het ferroxcube de nodige voormagnetisatie; deze is in de twee staafjes tegengesteld gericht. $T$ impedantietransformatoren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Het voornaamste probleem hierbij is, dat de factor $Q$ van elke trilholte in de actieve faze steeds dezelfde waarde moet aannemen. Dit wordt hier vergemakkelijkt door het feit dat bij een magneetveld boven een bepaalde sterkte de verliezen in het ferroxcube vrijwel constant en zeer klein zijn, zodat we de amplitude van de wisselstroom aan de ruime kant kunnen nemen; een kleine verandering hiervan heeft dan op de waarde van $Q$ geen invloed.

Het is gebleken dat de temperatuurvariaties van de diverse schakelelementen in fig. 5 die met de trilholten zijn gekoppeld, tot kleine veranderingen in de eigen frequenties aanleiding geven. Dit geheel is daarom in een thermostaat geplaatst.

*Het laagfrequentiegedeelte*

Zoals we gezien hebben, moet er een apparaat zijn dat kan onderscheiden, van welke trilholte het sterkste signaal afkomstig is. Daaruit moet dan het teken van de correctiespanning bepaald worden. Deze fazediscriminator werkt als volgt. We zetten op het schermrooster van twee pentodes, die geschakeld zijn volgens *fig. 7*, twee signalen $S_1$ resp. $S_2$ van dezelfde vorm, die 180° in faze verschillen. Deze signalen zijn afgeleid van de kanteelvormige stroom $S_0$ door de spoeltjes die de ferroxcubestaafjes omgeven. De duur van de positieve impuls is hierbij echter tot de helft gereduceerd, zoals in fig. 7 is getekend. De negatieve voorspanning van de beide stuurroosters is normaal zodanig dat, onafhankelijk van de schermroosterspanning,

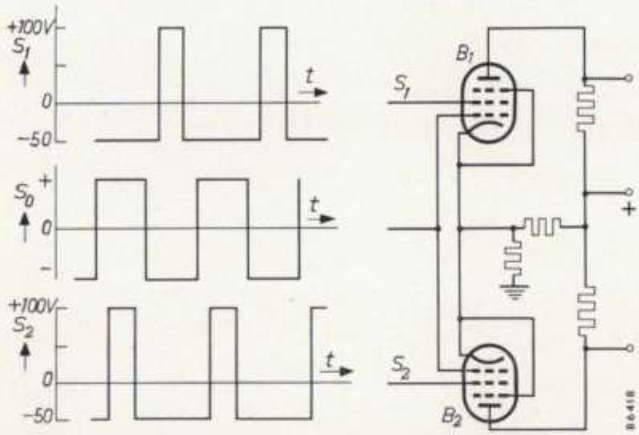



Fig. 7. De fazediscriminator. De signalen $S_1$ en $S_2$ worden afgeleid uit het signaal $S_0$, dat evenredig is met de stroom door de spoeltjes, en toegevoerd aan de schermroosters van de beide pentodes.

beide buizen afgeknepen zijn, en de schermroosterspanning is zodanig dat alleen gedurende de positieve piek anodestroom kan vloeien. Het van het kristal afkomstige kanteelvormige regelsignaal wordt na versterking aan de beide stuurroosters toegevoerd. We zien dat alleen die buis stroom trekt waar gelijktijdig op stuur- en schermrooster positieve impulsen optreden. De amplitude hiervan is evenredig met de amplitude van de wisselspanning op het rooster. Naar gelang dus trilholte *1* of trilholte *2* het sterkste signaal geeft, vloeit er stroom in buis $B_1$ resp. buis $B_2$.

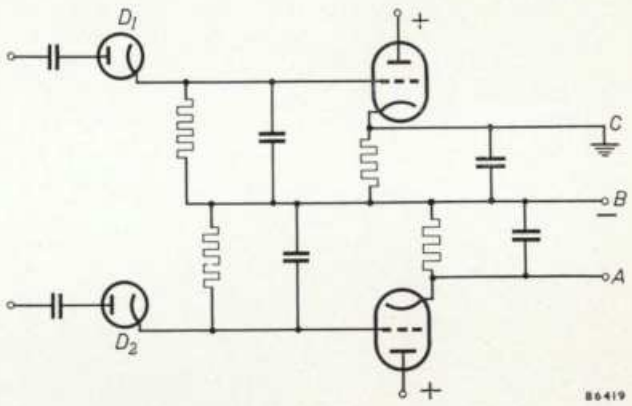



Fig. 8. Het laatste gedeelte van de schakeling. De spanning bij $A$ wordt toegevoerd aan de regelelectrode van de zendbuis.

De verdere schakeling is getekend in *fig. 8*. De uitgangsspanningen der pentodes worden gelijkgericht door de diodes $D_1$ en $D_2$. De gelijkgerichte spanningen komen terecht op de roosters van twee buizen in anodebasisschakeling, zoals in fig. 8 is te zien. De ene kathode ($C$) is geaard, de andere ($A$) is verbonden met de reflectie-electrode van de multireflectiebuis. De spanning van de reflector ten opzichte van aarde is:

$$V_A - V_C = (V_A - V_B) - (V_C - V_B),$$

dus gelijk aan het verschil van de spanningen tussen kathode en rooster van beide buizen en tevens evenredig met het verschil van de gelijkgerichte spanningen. Als de detectoren $D_1$ en $D_2$ geen stroom geven, is deze spanning nul en de frequentie wordt niet beïnvloed. Zodra echter één van de diodes stroom gaat leveren, verandert de spanning op de reflector in de bij die diode behorende richting, en de frequentie wordt bijgeregeld tot de stroom weer nul is. Het is hiervoor wel nodig dat de beide uitgangsbuizen goed overeenkomende karakteristieken bezitten. In de practijk blijkt dat de spreiding van de karakteristieken frequentieafwijkingen veroorzaakt die kleiner zijn dan 1 op $10^6$, terwijl, zoals gezegd, een frequentieafwijking van 1 op $10^4$ in ons geval nog toelaatbaar is.

Het laagfrequentiegedeelte kan nog op een andere wijze worden uitgevoerd. De multireflectiebuis is namelijk, behalve electrisch, ook mechanisch afstembaar, door middel van een systeem dat met de ingebouwde trilholte is verbonden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Hiermee kan men de frequentie in totaal 300 MHz variëren, dus veel meer dan met de instelling van de reflectorspanning is te bereiken. Om hiervan gebruik te maken, kan men als volgt te werk gaan. Als fazediscriminator gebruikt men een servomotor met twee wikkelingen. De wisselspanning aan de uitgang van het circuit van fig. 7 wordt na versterking direct aan een van de beide wikkelingen van de motor toegevoerd. De andere wikkeling krijgt voortdurend een signaal van dezelfde frequentie, dat met het eerste signaal 90° in faze verschilt. Zoals we beschreven hebben, verandert de faze van het eerste signaal 180° indien het teken van de frequentieafwijking omkeert. Zodoende krijgen we een draaiveld, dat de rotor van de servomotor in de ene of in de andere richting laat draaien, afhankelijk van de faze van het eerste signaal, tot het evenwicht weer is bereikt. Ook met deze uitvoering kan men de frequentie met ongeveer dezelfde nauwkeurigheid constant houden. Een belangrijk voordeel van de mechanische compensatie is, dat hierbij de statische reflectorspanning constant blijft. Men kan deze zo instellen dat de modulatie van de uitgezonden draaggolf zo goed mogelijk lineair is (zie [2]), en deze lineariteit blijft dan bij het in werking treden van de compensatie gehandhaafd.

*De stabilisatiecoëfficient*

Het regelgebied van de reflector, dat bepaald wordt door de eigenschappen van de multireflectiebuis, is beperkt tot $\pm$ 100 V. Hierbij is een grote veiligheidsmarge in acht genomen. De frequentieverandering $a$ per volt van de reflectorspanning bepaalt de maximale frequentieafwijkingen die het systeem kan corrigeren zonder de toegelaten spanningszone te verlaten. In ons geval is $a = 50$ kHz/V, zodat frequentieafwijkingen tot 5 MHz gecompenseerd kunnen worden.

Als doel was gesteld dat geen frequentieverschuiving groter dan $\pm$ 250 kHz mag optreden; dit is dus nog iets beter dan 1 op $10^4$. We voeren de versterker zo uit dat het regelgebied van de reflector bij de toegelaten frequentievariaties geheel gebruikt wordt, zodat een uiteindelijke verschuiving van 250 kHz aanleiding geeft tot een correctiespanning van 100 V. Zonder compensatie zou de frequentie in dit geval 5 MHz zijn verlopen. De verhouding van de frequentievariaties zonder en met compensatie wordt de stabilisatiefactor genoemd. Deze bedraagt in ons geval dus 20.

Het kristal krijgt bij een afwijking van 250 kHz ongeveer 1 mV spanning. De versterking van de fazediscriminator is ongeveer 60. Om de uitgangsspanning 100 V te krijgen, moet men nog 1700 maal extra versterken, hetgeen een eenvoudige opgave is, omdat alles bij lage frequenties kan gebeuren. In de practijk neemt men gewoonlijk nog 1,5 maal zoveel versterking om het eventueel teruglopen van de versterking te kunnen opvangen.

**Het instellen van de gewenste frequentie**

Het is soms van belang de frequentie van de zender snel te kunnen veranderen zonder dat dit

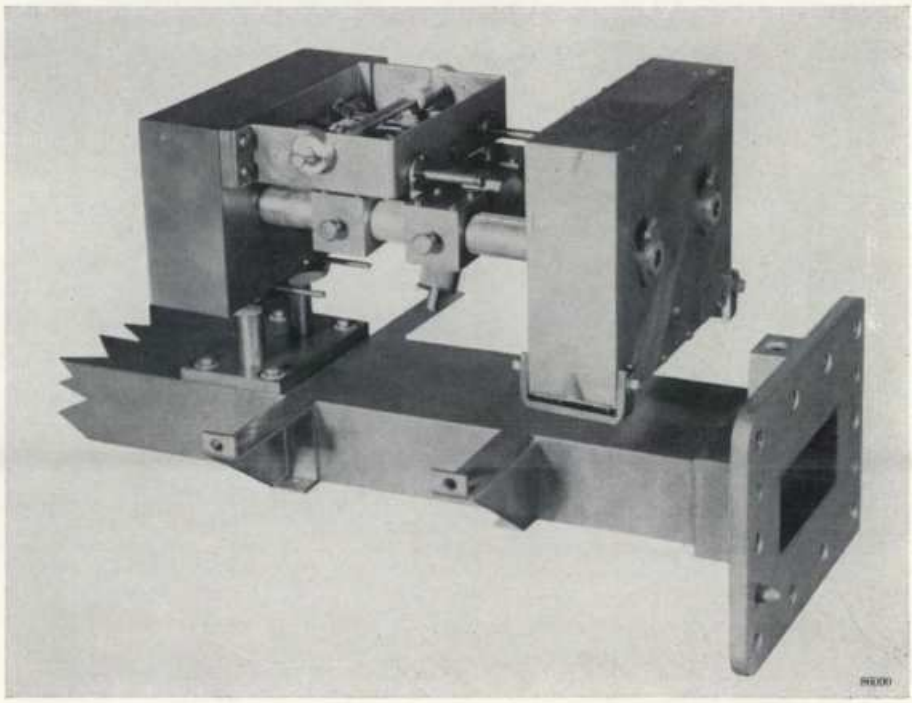


Fig. 9. Het hoogfrequentiegedeelte van de stabilisatieschakeling. Men ziet de doos met de beide trilholten en de koppelpijpen, die naar de golfpijp leiden; verder de beide coaxiale systemen, die naar de opstelling voeren waarin de „modulatie" door het ferroxcube plaats heeft. Ook de mechanische afstemming is gedeeltelijk zichtbaar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



een gecompliceerde bijregeling vereist. Dit betekent in ons geval dat de eigen frequenties van beide trilholten tegelijk een zelfde bedrag moeten kunnen opschuiven, zonder dat dit de kwaliteitsfactor of de mate van koppeling sterk beïnvloedt. We hebben dit bereikt door het aanbrengen van een regelschroef in ieder van de trilholten en door een mechanisme dat beide schroeven tegelijk aandrijft. Hiermee bestrijken we een frequentieband van 150 MHz, dat is ook ongeveer de totale bandbreedte waarin de multireflectiebuis mechanisch afstembaar is. Aan de grenzen van het gebied is de uitgangsspanning van het kristal en daardoor ook de stabilisatiefactor 2,5 maal zo klein als in het midden. Meestal is deze verandering niet zo belangrijk; is dit wel het geval, dan kan men bijv. de trilholten iets sterker met de golfpijp koppelen. Hiervan afgezien, is het dus mogelijk met één instelling de frequentie van de zender in een ogenblik in een gebied van 150 MHz te verschuiven.

*Fig. 9* geeft een foto van het hoogfrequentiegedeelte van de frequentiecompensator met de mechanische afsteminrichting. De bijbehorende thermostaat is hier weggelaten. Als het apparaat in werking is, kan de mechanische instelling via een warmte-isolerende staaf, die door de thermostaat heen steekt, van buiten af geschieden.

**Samenvatting.** Beschrijving van een automatische stabilisatie-inrichting, waardoor de frequentie van een straalzender, die werkt met een multireflectiebuis op 8,5 cm golflengte, binnen 1 op $10^4$ constant wordt gehouden. Twee trilholten, die ongeveer 15 MHz in eigen frequentie verschillen, maar verder identiek zijn, worden met de uitgaande golf gekoppeld. Als de frequentie van deze golf midden tussen de beide eigen frequenties in ligt, zal een kleine verandering hiervan in de ene trilholte een sterker signaal geven, in de andere een zwakker. Het verschilsignaal, dat, met inachtneming van het teken, een maat voor de frequentieverschuiving is, wordt na versterking toegevoerd aan een regelelectrode van de zendbuis, welke electrode de frequentie terugregelt. Het meten van de signalen in de beide trilholten geschiedt afwisselend met een zelfde kristaldetector. Men is daardoor onafhankelijk van kleine verschillen (en een eventueel verlopen) van de karakteristiek der in aanmerking komende detectoren. Het commuteren geschiedt door absorptiemodulatie met behulp van staafjes ferroxcube, die, afhankelijk van de sterkte van een magnetisch wisselveld, al of niet absorberen. De hierbij optredende wisselspanning op het kristal wordt gelijkgericht en via een fazediscriminator toegevoerd aan de regelelectrode. De stabilisatiecoëfficient (verhouding van de frequentieverschuivingen die zonder en met de stabilisatie optreden) bedraagt 20. Bij de multireflectiebuis is deze terugregeling van de frequentie ook mechanisch uit te voeren; de precisie, waarmee in dit geval de frequentie constant gehouden wordt, is vergelijkbaar met die van het zuiver electronische systeem. Het gehele systeem is over een band van 150 MHz mechanisch met één regelschroef instelbaar.

## OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

**2240:** A. Kats en J. M. Stevels: Colour centres in alkali silicate glasses (Z. physik. Chem. **3**, 255-260, 1955, No. 3-4).

Het blijkt dat de theorie van kleurcentra teweeggebracht door röntgen- of ultraviolette straling, die in de laatste jaren is ontwikkeld voor alkalihalogeniden, in zijn algemeenheid ook van toepassing is op alkalisilicaatglazen. De invloed van de genoemde stralingssoorten op deze glazen is bestudeerd door de veranderingen na te gaan welke na de bestraling optreden in het absorptiespectrum tussen 2000 en 10 000 Å. Glazen met verschillend alkaligehalte werden onderzocht. De theoretische achtergrond wordt kort geschetst; een vollediger verslag van het onderzoek zal later verschijnen in Philips Research Reports.

**2241:** L. Heyne: Operation and characteristics of the „vidicon" (T. Ned. Radiogenootsch. **20**, 1-10, 1955, No. 1).

In televisieopneembuizen komt een ladingsbeeld tot stand doordat een optisch beeld wordt geprojecteerd op een lichtgevoelige laag. In normale opneembuizen wordt een lichtgevoelige laag gebruikt die foto-emissie vertoont, bij het vidicon daarentegen is deze laag fotogeleidend. Het videosignaal wordt verkregen door het ladingsbeeld af te tasten met een bundel langzame electronen.

Het fotogeleidende materiaal dat in het vidicon wordt toegepast, moet o.a. in onbelichte toestand een zeer grote soortelijke weerstand bezitten, het moet behoorlijk gevoelig zijn voor zichtbaar licht en het mag geen traagheidsverschijnselen vertonen. Bemoedigende resultaten zijn verkregen met loodoxyde. De loodoxydelaag is ook gevoelig voor röntgenstralen. Deze gevoeligheid is echter te gering voor medische toepassingen.

Over het vidicon is ook een korte mededeling verschenen in Philips techn. T. **16**, 43-45, 1954.

**2242:** F. H. J. van der Poel: A 35 mm film scanner (T. Ned. Radiogenootsch. **20**, 11-19, 1955, No. 1).

Na enige algemene opmerkingen over het uitzenden van films per televisie, wordt kort een veelgebruikte methode besproken voor het uitzenden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



van films, waarbij gebruik gemaakt wordt van een normale filmprojector in combinatie met een televisieopneembuis van het accumulerende type, bijv. een beeldiconoscoop. Daarna volgt een beschrijving van een methode waarbij het principe van de lichtstipaftasting (zie Philips techn. T. **15**, 217-228, 1953) wordt toegepast. De film wordt in dit geval niet intermitterend, doch met een constante snelheid voortbewogen. De op deze wijze verkregen televisiebeelden zijn van uitstekende kwaliteit.

**2243:** K. Teer: Overdrachtsystemen voor kleurentelevisie (T. Ned. Radiogenootsch. **20**, 21-34, 1955, No. 1).

Een voor kleurentelevisie uitgezonden signaal moet bij voorkeur de eigenschap hebben dat het toegevoerd kan worden aan een normaal ontvangtoestel voor zwart-wittelevisie en ook daarop een beeld van goede kwaliteit oplevert. Het systeem van overdracht is dan een zg. „compatible system", d.w.z. een systeem verenigbaar met de bestaande techniek van monochrome televisieontvangst. Kleurentelevisie wordt verkregen door gebruik te maken van de drie primaire signalen, die resp. corresponderen met de rode, de groene en de blauwe component van het van de scène afkomstige licht. In dit artikel wordt beschreven hoe men uit deze signalen een voor uitzending geschikt signaal kan verkrijgen. Men kan ofwel de primaire signalen zelf uitzenden, ofwel drie andere signalen, mits deze zodanig met de primaire signalen samenhangen dat men deze laatste er aan de ontvangzijde uit kan afleiden. Ook kunnen de drie signalen gelijktijdig worden uitgezonden, of afwisselend na elkaar. Om een met zwart-wittelevisie verenigbaar systeem te krijgen, kan men drie lineaire combinaties van de primaire signalen uitzenden. Eén der combinaties kiest men zo, dat deze het normale zwart-witsignaal oplevert. Dit signaal wordt op de normale manier en met de normale bandbreedte uitgezonden. De twee andere combinaties, de zg. kleursignalen, worden met relatief kleine bandbreedte uitgezonden, waardoor het mogelijk wordt ze te moduleren op twee hulpdraaggolven die vallen binnen de bandbreedte van het normale videosignaal. Ook is het mogelijk deze beide signalen op één hulpdraaggolf te moduleren. Dank zij de geringe gevoeligheid van het oog voor kleurverschillen tussen kleine aan elkaar grenzende gebiedjes, is de geringe bandbreedte van de kleursignalen geen groot bezwaar. De invloed van de kleursignalen op de zwart-witontvangst, en de gevolgen van het „overspreken" (veroorzaakt door het overlappen der signaalspectra) bij kleurenontvangst, kunnen binnen toelaatbare grenzen gehouden worden door te zorgen voor bepaalde fazerelaties tussen de frequenties van de hulpdraaggolven en de aftastfrequentie. Het artikel eindigt met een summiere beschrijving van een experimenteel overdrachtsysteem voor kleurentelevisie, waarbij van twee hulpdraaggolven gebruik wordt gemaakt en waarbij voor de kleursignalen twee van de primaire signalen zelf zijn gekozen.

**2244:** A. G. van Doorn en F. W. de Vrijer: Display methods for colour television (T. Ned. Radiogenootsch. **20**, 35-48, No. 1).

Bespreking van drie der methodes om gekleurde televisiebeelden te verkrijgen wanneer drie signalen, resp. corresponderend met de rode, de groene en de blauwe helderheidscomponent, ter beschikking staan. Na een inleiding wordt eerst een projectiemethode beschreven waarbij een rood, een groen en een blauw beeld over elkaar heen op hetzelfde scherm worden geprojecteerd. Vervolgens worden twee systemen, toegepast in kleurenweergeefbuizen voor direct zicht, beschreven, nl. het systeem met een schaduwmasker (Eng. „shadow mask tube") en het systeem met een focusserend rooster (Eng. „grid-focusing tube"). Een vergelijking van de resultaten tot dusverre geboekt met de verschillende systemen besluit het artikel.

**2245:** F. A. Kröger: The physical chemistry of sulphide phosphors (Brit. J. appl. Phys., Suppl. No. 4, S58-S64, 1954).

Om fosforen met reproduceerbare eigenschappen te bereiden, moet men de omstandigheden waaronder de bereiding plaats heeft, nauwkeurig onder controle houden. Bestudering van verschillende op deze wijze bereide fosforen verschaft inzicht in hun microstructuur. Voor ZnS worden enige fysisch-chemische aspecten van de bereiding besproken, b.v. het evenwicht oxydatie-reductie, de wijze waarop smeltmiddelen hun taak verrichten, en de vorming van vaste oplossingen.

**2246:** J. F. Klinkhamer: Lineaire vierpolen met voorgeschreven overdrachtsimpedantie (Ingenieur **67**, E1-E8, 1955, No. 1).

In deze voordracht, die deel uitmaakt van de vacantieleergang: „Het ontwerpen van schakelingen", gehouden aan de Technische Hogeschool te Delft in 1954, worden eerst de omstandigheden besproken waarin het ontwerpen van een vierpool met voorgeschreven overdrachtsimpedantie van praktisch belang kan zijn. Dan wordt het ontwerpen behandeld voor de volgende gevallen:

a) De voorgeschreven overdrachtsimpedantie is gegeven als rationele functie van de frequentie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



b) Oneindig grote demping treedt slechts op bij reële frequenties.
c) De vierpool mag bestaan uit een reactief netwerk met één afsluitweerstand.

Hierna wordt kort ingegaan op het probleem een realiseerbare vierpool te ontwerpen met een rationele overdrachtsimpedantie welke binnen voorgeschreven toleranties overeenkomt met een gegeven dempingskromme.

**2247:** G. W. van Santen: Het automatisch regelen van de temperatuur in een melkpasteur met behulp van elektronische apparatuur (Ingenieur **67**, O 51-O 55, 8 april 1955).

Er bestaan ettelijke methodes om melk te pasteuriseren. De beste is wel die waarbij de melk gedurende korte tijd op een temperatuur van 72 °C wordt gehouden, om vervolgens snel te worden afgekoeld. Hierbij worden echter hoge eisen gesteld aan de constantheid van de temperatuur, en dus ook aan de regelapparatuur. Er wordt een installatie met door Philips in de handel gebrachte elektronische regelapparatuur beschreven, en de moeilijkheden die zich in de praktijk kunnen voordoen, worden genoemd. Speciale aandacht wordt gewijd aan storingen veroorzaakt door de werking van de omloopklep. De principes van de apparatuur voor regeling en registratie worden besproken.

**2248:** J. M. Stevels, C. van Amerongen en J. Volger: Dielectric losses in quartz at low temperatures (Z. physik. Chem. **3**, 382-385, 1955, No. 5-6).

Voorlopige mededeling omtrent metingen van diëlektrische verliezen in kwartskristallen bij lage temperaturen. Een uitvoeriger verslag is reeds verschenen in Philips Res. Rep., zie No. **R 272** van deze overzichten.

**R 271:** G. Klein: Rejection factor of difference amplifiers (Philips Res. Rep. **10**, 241-259, 1955, No. 4).

Analyse van de gewone triodeverschilversterker, welke in principe bestaat uit twee parallelgeschakelde triodes met een gemeenschappelijke kathodeweerstand, toont dat de invloed van gelijke signalen aan de twee ingangsroosters willekeurig klein gemaakt kan worden, zonder dat het nodig is de te gebruiken buizen van te voren te selecteren en zonder dat aan de overeenkomstige elementen in de symmetrische apparatuur strenge eisen van onderlinge gelijkheid worden opgelegd. Enige voorbeelden worden gegeven waarbij overeenkomstige elementen zelfs 10% in waarde mogen verschillen. Metingen bevestigen de theoretische resultaten.

**R 272:** J. Volger, J. M. Stevels en C. van Amerongen: Dielectric losses of various monocrystals of quartz at very low temperatures (Philips Res. Rep. **10**, 260-280, 1955, No. 4).

De verliesfactor tg $\delta$ van verschillende kwartsmonsters is gemeten als functie van de temperatuur in het gebied van 14 tot 150 °K. De krommen werden opgenomen bij twee frequenties, nl. bij 1 kHz en bij 32 kHz. In beide gevallen vertoonden de krommen verscheidene maxima, die veroorzaakt worden door bepaalde relaxatiemechanismen, samenhangende met het voorkomen van zowel van nature aanwezige als van door energierijke straling teweeggebrachte kristalfouten. Onderzocht zijn monsters van helder kwarts, in het laboratorium bestraald kwarts, natuurlijk rookkwarts en amethist. Het verband tussen de meetresultaten en de kristalfouten wordt besproken.

**R 273:** A. van Weel: Phase-linear television receivers (Philips Res. Rep. **10**, 281-298, 1955, No. 4).

Beschrijving van een televisieontvanger met een fazelineaire middenfrequentieversterker. Er wordt gebruik gemaakt van conventionele schakelingen, welke echter zo gedimensioneerd zijn dat zij aan de eis van fazelineariteit voldoen. De selectiviteit is even goed als die van een normale ontvanger. De beeldkwaliteit wordt vergeleken met die van een normaal ontvangtoestel waarbij de fazedraaiingen die ontstaan in de middenfrequentieversterker, worden gecompenseerd in het videofrequentiegedeelte van de zender of van de ontvanger; de vergelijking valt uit in het voordeel van de fazelineaire versterker. De beeldkwaliteit is zo goed als bij de gebruikte bandbreedte mogelijk is; bovendien is deze kwaliteit in hoge mate ongevoelig voor een foutieve afstemming van de ontvanger.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!